RADIATION EDUCATION

放射線教育

2004

VOL. 8 NO. 1

放射線教育フォーラム
Radiation Education Forum

放射線教育
Radiation Education
Vol. 8　No. 1

目　次

1__【巻頭言】京都議定書とエネルギー政策　山寺秀雄

3__原子(分子)の存在はどのようにして実証されたか
—放射線の理解を促進するために—　大野新一

11__天然原子炉と放射線教育　佐伯正克

19__原子炉発電はどのくらい安全か　村主　進

25__社会技術としての放射線教育　大島　浩

31__原子力の安全と安心を結ぶ理解活動を考える　笹川澄子

39__北投石　—温泉で生成する放射性鉱物—　堀内公子

49__渡部　鼎について　坂内忠明

59__インドネシア科学技術館の原子力展示に携わって　田村直幸

65__ＪＣＯ臨界事故をふりかえって　事故当時の日記　杉　暉夫

77__湯川秀樹著「存在の理法」における湯川秀樹の哲学観　伊藤政幸

83__放射線は日本社会でどのように怖がられているか　田中隆一

95__［書評］原子力と報道　坂内忠明
96__［書評］環境リスク学　不安の海の羅針盤　坂内忠明

97__投稿規定
102__編集後記

発行：2005 年 3 月 30 日，NPO 法人　放射線教育フォーラム
〒100-0013　東京都千代田区霞ヶ関 3-3-1　尚友会館 B1F
Tel: 03-3591-5366　FAX: 03-3591-5367
E-mail mt01-ref@kt.rim.or.jp,　HP：http://www.ref.or.jp

『放射線教育』Radiation Education
Vol. 8 No. 1, p. 1 - 2 (2004)

[巻頭言]

京都議定書とエネルギー政策

放射線教育フォーラム　前副会長　山寺秀雄

京都議定書が 2 月 16 日に発効し、日本は 2008-2012 年の間に温室効果ガス排出量を 1990 年の水準から 6%削減する義務を負うことになった。昨年ロシアの京都議定書批准が確定的になって以来、二酸化炭素排出量削減を目指す官民の動きが活発になってきた。しかしあまりにも遅く、かつ生温い。1992 年の地球サミットにおける申し合わせ(先進諸国は 2000 年に二酸化炭素排出量を 1990 年の水準まで削減する)に反して、8%増になった 2000 年に危機感をもつべきであった。最近になって環境省が提案した環境税の案はあまりにも低率であって、化石燃料の消費削減の効果は期待できない。単に環境省予算の財源獲得の手段としか見られない。

部門別に見ると、二酸化炭素排出量削減の努力の跡が見られるのは、横ばいないし微減の産業部門だけで、家庭、業務、運輸各部門とも 20%以上の増加である。これを放置した環境省の責任は重大である。この際、温室効果ガス放出量削減に向かっての舵取りを、無力、無為、無策の環境省に代わって、実行力のある経済産業省に委ねることが望ましい。経済産業省の指導と各企業の努力により、産業界では温室効果ガス排出量削減の成果があがりつつあり、環境税の必要はないという経済産業省の意見には一理ある。しかし経済産業省が国全体の排出量削減に責任を負うことになれば事情は変る。民生や運輸部門の排出量削減のために、例えば燃費の劣る自動車、飲料自動販売機、容器包装など、エネルギー多消費あるいは浪費商品の製造販売禁止、使用に対する懲罰的高率課税のような強力な規制を行うか、高率の環境税を創設するかの選択を迫られるであろう。

環境税を選ぶ場合、国民ならびに産業界の理解が必要である。国民の協力を得るためには、環境税が実質増税とならないように、その税収を例えば消費税の減税(あるいは廃止)に当てることが考えられる。(ドイツは年金保険料の減額に当てたが、日本では年金が政治問題になっているのでそれにかかわることは避けたい。)そうすれば、電力、ガソリンなどのエネルギー料金は大幅に上がるが、太陽の恵みを受けて生産される農産物は(消費税減税により)値下がりし、全体として国民生活に対する影響はほとんどないであろう。産業界の納得を得るには、国内販売において環境税を消費税のように消費者に負担させるとともに、輸出する場合には税の免除あるいは払戻しを行い、外国からの輸入品に対しては国産品と同率の環境税を課税して、国際競争力を損なわないようにする配慮が必要である。

高率の環境税はエネルギー料金を高くし、化石燃料の消費を抑制するであろう。住宅、商業施設、工場などの建築にあたっては、断熱性を高めて冷暖房効率向上に努めるであろう。耐久消費財の購入にあたっては、多少高価であっても、例えばハイブリッドカーのような、省エネルギー商品が選ばれるようになるであろう。またこれまで廃熱として捨てられていたエネルギ

ーの利用(熱電併給など)が進み、生ゴミや家畜の糞などがエネルギー源として見直されるであろう。石油を原料とするプラスチック類は高価となるので、容器･包装は簡素化に向かい、プラスチックや紙の再利用、再生利用も進むであろう。このようにして二酸化炭素排出量は減少する。

環境税課税によるエネルギー料金の高騰は、風力、太陽光、生物資源などの白然エネルギー開発の追風になる。しかしこれらの新エネルギーは現在総供給エネルギーの 1%程度の少量であり、それが主要なエネルギー源になるにはかなりの年月を要するであろう。廃熱や廃棄物の利用、火力発電の効率向上、燃料電池など高効率のエネルギー変換装置の開発などの努力もなされるであろうが、エネルギー資源に乏しい我が国では、少なくとも当分の間、原子力抜きのエネルギー政策は考えにくい。

原子力発電に関しては、法的規制と技術によって十分な安全策がとられていると思うが、それが十分に安心につながっているとはいえない。安全性のさらなる向上(例えば、天災、テロなど、異常事態に対する配慮)に努めると同時に、原子力発電の仕組みと何重もの安全策をわかりやすく説明し、安全を安心につなげる努力が望まれる。

原子力発電のさらなる増強については慎重であるべきだというのが私の意見である。使用済み核燃料の最終処理の問題が決着していないからである。ドイツのようにエネルギー構造改革を行って、現有の原発が使命をおえる時に新たな原発を必要としないようにすることが理想ではあるが、構造改革が進んでいないわが国では、それは不可能に近い。将来起こるかもしれないエネルギー危機に備えて、仮に無駄な投資になるとしても、増殖炉や核燃料再処理の研究と試験的開発は続けるべきであろう。核燃料廃棄物の最終処理場所に関しては、国内に限定せず、もっと広く考えてはどうであろうか。大陸には地層が安定していて、人の住んでいない場所が数多くある。友好国では、モンゴルやオーストラリアの砂漠はどうだろうか。近いところでは、今は非現実的だが、北朝鮮の山地も候補地の一つであろう。もし最終処理場として外国の地を借りるならば、管理上の観点から、燃料再処理を行ってプルトニウムを含まない廃棄物にする必要があろう。

(名古屋大学名誉教授・大同工業大学名誉教授)

「放射線教育」Radiation Education
Vol. 8 No. 1, p. 3 - 10 (2004)

原子(分子)の存在はどのようにして実証されたか

—放射線の理解を促進するために—

大野新一
理論放射線研究所
〒227－0054 横浜市青葉区しらとり台 12－5
Tel: 045-981-8752, E-mail: ohno-trl@01.246.ne.jp
(2005 年 3 月 9 日　受理)

要　旨

原子・分子の存在の仮定についてのギリシャ人たちの考え，19 世紀の化学者たちの定量的な実験からの裏付け，ブラウン運動の観測から原子の存在を実証しようとしたアインシュタインの理論などを歴史的に概観する。この後でラザフォードによる原子核の発見とモーズリーによる軌道電子の運動の量子化などの発見，さらに量子力学の完成を待って原子の存在や分子との違いが明瞭に理解されるに至った。皮肉にも原子内部の構造を明かすことが，原子そのもの(＝アトム；分割できないもの）の存在を揺ぎないものとした。本稿は，原子の存在が実証されるまでの覚書である。

1．はじめに

放射線の重要な性質として多くの著書が挙げることは，物質への透過性，物質中の原子・分子のイオン化，そして化学反応性・生物作用であろう。すべての物質が原子・分子から構成されていることと，原子・分子のイオン化から物質内の化学反応が誘起されること，物質の一種である生物体においても化学反応を経て放射線作用が誘起されることを思えば，上記の放射線の重要な性質は原子・分子に対する透過性と原子・分子における電子のはじき飛ばしに還元できるであろう。そこで放射線とは何かを理解する根底に，原子(分子)がどのようなものであるかの理解が要求される。しかしながら現行の中高校教科書では，原子は原子核の存在とその周りを回る複数の電子が運動するという記述はあるものの，原子(分子)の存在を読者に強く印象付けるものに欠けている。このことが放射線の理解を一般的に困難にしていると思われる。

2．ギリシャ人たちの感性

人類の誕生は数百万年前であるが，およそ 1 万年前に始まった地球上の温暖な気候とともに，人類の文明が誕生したといわれる。なかでもエジプト，メソポタミア，インダス，黄河などいわゆる四大文明の時代には，自然に関する人類の知識・経験が増大し，採集・採掘から栽培・金属の使用などの技術革新が起こった。この時代は人類の技術革新の時代

ともよばれる。ギリシャ時代には，豊富になった自然現象の観察結果に対する考え方が論じられた。そのなかから万物のできかたに関するものを拾いだしてみよう：

a. 元素と原子の概念（イオニア自然哲学）[1-4)]

万物はどのようにつくられているかについて，イオニア地方のターレス（Thales，BC 600）は，神を立ち入らせることなく，水を基本にして首尾一貫した世界像をつくった。水さえあれば植物が成長し，それを基に動物が育ち，動植物が死んで土を残す。また燃えて火と空気ができる。ターレスは「万物は水からできている」という言葉を残した。

ターレスにつづいて，アナクシマンドロス，アナクシメネス，ヘラクレイトスらがそれぞれ議論に参加し，統一的に妥協を試みたのがシチリア島出身のエンペドクレス（Empedokleis，BC 450）である。かれは水，空気，火，土を永遠不変の基本実体として採用し，この 4 実体が「愛」と「争い」によってさまざまに混ぜ合わされ，「自然」をつくりだすとした。これが元素の概念の誕生である。

一方，古代オリエントでは，計算，測量，航海，占星などの経験的数学技術が進んでいた。ここからはピュタゴラス（Pythagoras，サモス島出身，BC 560 生）派，さらにユークリッド（Eukleides）の「原論」で代表される派が誕生した。ピュタゴラス教団は，宇宙は数の原理にもとづく秩序であり，かつ調和であるという世界観をもっていた。「万物は数である」はピュタゴラスの言葉とされる。パルメニデス（Parmenides，BC 500）によれば，宇宙の本質は「不変」であり，物事が動き，雑多であるのは感覚の幻想に過ぎないと論じた。彼の出発点は「あるもの」と「あらぬもの」の認識である。「あるもの」は球体，内部は同じ濃度で，不変の世界像にいたる。「あらぬもの」（＝無，空虚，真空）は存在し得ないという。

イオニア自然哲学者たちの 150 年にわたる議論の終着として，物質の動的な変化に注目したデモクリトス（Demokritos，BC 400 頃）の原子論：「万物は原子と空虚（真空）から成る」があらわれた。原子はパルメニデスの「あるもの」であり，不生不滅，中身は充実して均等，微細で，不変である。そして「空虚」も「原子」と同じように実在し，原子が絶え間なく動くことを可能にしている。濃厚化と希薄化，原子同士の再配列(種々の結合と分離)など，万物流転の世界が繰り広げられる[1]。原子論の独創的な点は，この空虚の存在を確信したこと以外に，原子を数学的な点でなく大きさをもつ物理的なものとして定義したことであろう[2]。

b. プラトンの原子論[1-4)]

---

[1] たとえば肉眼で見える食塩の塊も塩の原子（微細で見ることはできない）と真空からできている。食塩を水に溶かすと水の真空部分に塩原子が入りこみ見えなくなる。それを室内に放置すると，水の原子が空気中の真空部分に移動し，ふたたび食塩の塊があらわれる。

[2] 原子は，空間的には可分であるが物理的には不可分なものとされた。当時，ピュタゴラス学派は大きさのある点と，さらに線，平面，立体に基礎を置く数学的宇宙論を展開していた。ところが空間が無限に可分であるという自らの発見により，ピュタゴラス学派は矛盾の窮地に陥っていたが，デモクリトスの原子論はかれらを救うものとなった。

「宇宙の秩序ができあがってから，神は第 1 に図形と数とを用いて火，水，空気，土の原型を設計し始める。神はこれらをあり得る限り全く美しくあり善くあるように形造ったのであるということを，どこまでもわれわれの不動の原則として想定せねばならない」（Platon，BC 427-347; 「ティマイオス」より)。正三角形と正方形をそれぞれ 2 分して 2 種類の基本三角形を得る。これらを組み合わせることにより，４つの正多面体が得られる。それぞれが火(正四面体)，土(正六面体)，空気(正八面体)，水(正二十面体)の基本要素をあらわす。これらの形状から物質の性質を説明しようとした。ここでプラトンは，ピュタゴラス派の抽象的傾向「万物は数である」を採用したといえる。

c. アリストテレスと錬金術者たち

アリストテレス（Aristoteres，BC 384-322）は，真空(＝空虚)の存在に基礎を置く原子論を否定し，唯一の根源物質たる第一質料に温・冷・乾・湿のうちの 2 つが加わって 4 元素，すなわち火（温・乾)，空気(温・湿)，水(冷・湿)，土(冷・乾)ができると考え，元素の相互転換を可能とした。序ながらインド仏教では，第一質料は「空」とされ，また火，空気，水，土など人間の五感に感じ得るものは「色」とされる[3]。そして 4 元素の組み合わせで第 2 種の変化(石や皿など)，第 3 種の変化(顔や手)が生じると考えた。アリストテレスは，プラトンの形相とイオニア自然哲学の質料を統合し，“目的論的世界観”を打ち立てた。

アリストテレス以降，原子論は抑圧されながらも，エピクロス（Epikuros，BC 4-3 世紀）によって継承され，アラビア世界でひっそりと保存された。一方，アリストテレスの四元素説は，金をつくるための錬金術として化学の発展に大いに貢献したとされる。錬金術は，初めアレキサンドリアで，７世紀からはアラビア世界で栄え，12 世紀には翻訳書がヨーロッパに伝えられた。錬金術の一例を挙げると，まず水と土から流動性をもつ水銀が，そして土と空気から燃焼性をもつ硫黄ができる。水銀と硫黄の混合比を変えて，さらに“賢者の石”を加えてあらゆる金属ができる。16 世紀に，パラケルスス（Paracelsus）は水銀・硫黄のほかに塩を加えて３原質説を提出，ボイル（Boyl）は“懐疑的化学者”(1661)のなかで 3 原質説や 4 元素説を批判し，原子論によって物質構造を考え，ニュートンにも刺激を与えた。

d.原子論が近代科学成立に与えた影響[5)]

アリストテレスの流れを汲むプトレマイオス（Ptolemaios，BC 130）の“アルマゲスト”はギリシャ天文学の集大成とされる。プトレマイオスは，地動説への反論の根拠を雲や飛ぶ鳥や投げ上げられた物体などが地球と逆方向に運動しないことをあげ，天動説を基本仮説とした。後年，“慣性概念”のないときにコペルニクス（Copernicus，1473－1543）は，原子論的自然観を身につけ，地球も他の天体と同じ原子からなり，同じようにまわるはずであると考えてアリスタルコスの天動説を復活させた。ケプラー（Kepler，1571－1630）は，「宇宙の調和」では惑星の軌道を太陽を中心に正多面体で考えたが，後にはチ

---

[3] 「空」および「色」はサンスクリット語からの漢語訳である。

コ・ブラーエの詳細な観測結果を惑星運動の 3 法則としてまとめた。50 年後にニュートン（Newton, 1643－1727）が Kepler の３法則が万有引力を仮定することと等価であることを発見する。ニュートンは，物質は堅い不可入の粒子(＝原子)と真空から構成され，また階層的内部構造をもつという物質理論に深い関心をもっていた。「物質の最小微粒子は最大引力によって凝集し，力の弱い大きな微粒子を構成し，それらが多く凝集してさらに大きくさらに弱い粒子を構成する。相ついで回数をすすみ，ついに化学作用や色を左右する粒子をつくる。この最大粒子の凝集によって感知できる大きさの物体となる。」（「光学」疑問 31)。ニュートンは，このような原子間の引力を同じ種類の原子からできている天体にまで適用して“万有引力”を発見したものと思われる（北大図書刊行会「異端の科学史」[5])。

３．19 世紀化学者の努力

ニュートンが確立した数理科学の方法は，天体から地上の物体の運動はもとより，熱，音，電気，磁気，光現象などの背後に共通の法則が支配することにもとづいている。ところで化学現象は膨大な数の微視的物体によって起こされるもので，錬金術の長い歴史にもかかわらず，理解が遅れたが，この分野から新しい着実な内容をもって原子論が登場する。[1)]

ギリシャ人たちと 19 世紀化学者との違いは，前者が自然現象や鍛冶・手工業で目の当りにする物質変化を観察したのに対して，後者はさまざまな測定機器と気体などの操作器具を用いて定量的な実験を行ったことである。ラボアジェ（Lavoisier, 1743-1794）は，化学反応の前後において反応物の全質量と生成物の全質量が等しい(＝質量保存則，1774)ことを発見する一方で，空気が酸素と窒素の混合物であることを発見した(1777)[4]。つづいて水が水素と酸素から成る化合物(混合物でないことが重要)であることを報告した[5](「化学要論」，1789)。ここに至ってギリシャ人の元素は完全に退けられ，どのような手段を用いてもこれ以上に異なる物質に分割できなくなった物質を元素と呼ぶことが提案された。ドルトン（Dalton, 1766－1844）は，２種の元素 A，B が化合して２種以上の化合物ができるとき，各化合物における A の一定量にたいする B の量が簡単な整数比となる（＝倍数比例の法則，1802）ことを発見した（例として窒素と酸素からできる化合物 N_2O，NO，NO_2 を考えるとよい)。またゲイ・リュサック（Gay-Lussac）は，反応物も生成物もともに気体であるような反応において，等温・等圧で測定した気体体積の間に簡単な整数比が成り立つ（＝気体反応の法則，1805）ことを見出した。これらは以下のことを仮定すると理解できる：(i)単体の気体（酸素，水素）も分子からできている，(ii)化学反応は原子と原子の

---

[4] 普通には酸素の発見はプリーストリであるとされる。水銀を空気中で灼熱させて赤い水銀灰をつくり，それをトリチェリの方法で用意した真空の中にいれ，レンズで太陽光を集中させて加熱するとでてくる気体の性質をしらべた（1774)。

[5] 1781 年に，キャベンデッシュは水素と空気の混合物に電気火花をとばし，水素と酸素が常に体積比 2 対 1 で結合することを見出している。ラヴォアジェはこれを追試し，さらに

組み合わせの変化である，(iii)原子は不変である。さらに気体の種類によらず，等温・等圧のもとで同体積のすべての気体は同数の分子を含むとするアヴォガドロ（Avogadro）の仮説(1811)が提出され，物質の粒子的性格が鮮明になってきた[5]。

しかし，では一定体積中に含まれる粒子の個数はいくらか，その粒子（原子にしろ，分子にしろ）の質量，形，気体中で飛び回っている速度はどれほどなのか？

ジュール（Joule，1857）は1 L の立方体の容器に含まれる多数の分子（分子の個数を N，質量を m，速度を各辺にそう方向にそれぞれ v_x，v_y，v_z，すなわち速度の大きさは $V=\sqrt{v_x^2+v_y^2+v_z^2}$ とする）を考え，

気体分子の全体が1秒間に一つの面にあたえる運動量$=N\cdot m\ v_x^2/L$

気体の圧力$=(1/L^2)\cdot(mN/L)\ v_x^2$

$=$（1／気体の体積）・（気体の質量）・v_x^2

この式から分子の速度（v_x^2）が気体全体の圧力，体積，質量という測定できる量を用いて求められることを示した。結果は分子の速度が数百 m／秒という信じられないほどの値になる。しかしすべての分子の速度が同じ値であるはずはない。大きいもの小さいものと分布を示す。各速度毎に分けて壁に対する運動量変化を計算し，最後に全速度について積算してから圧力を求めると，

気体の圧力$=$(1／気体の体積)･(気体の質量)･(すべての分子についての v_x^2 の平均)

という関係が得られる。つまりジュールの(分子の速さ)^2 としたものが（速度の x 成分の2乗の平均）となった。また V^2 の平均$=v_x$ の2乗の平均$+v_y$ の2乗の平均$+v_z$ の2乗の平均$=3\times$(v_x の2乗の平均)となるので，結局，(V^2 の平均)$=3\times$(気体の圧力)（気体の体積）/(気体の質量)となる。ここで理想気体について成り立つボイル・シャルルの法則（圧力）・（体積）$=N\cdot k_BT$ を使うと，$(1/2)m$(v_x の2乗の平均)$=(1/2)k_BT$ が得られる。分子の一方向の運動がもつ運動エネルギーの平均は$(1/2)k_BT$ である。ただし k_B は定数，T は絶対温度。このようにしてマクスウェル（Maxwell，～1860）やボルツマン(Boltzmann，～1870)は，剛体球モデルの分子と壁との衝突による撃力の平均値が圧力であるとして理想気体の法則が得られることをしめし，また剛体球同士の衝突に基づいて分子の大きさ，気体中の近似的な分子数を説明した[5]。

このようなやり方に対して，原子論に反対の人たちの声が上がった。たとえばボルツマンと同じウィーン大学のマッハ（Mach；「力学の発展」，1883）は，原子は思考上の産物に過ぎないといっている。

4．ボルツマンとオストワルドの論争

オストワルド（Ostwald）は，エネルギーはさまざまな形体に変形されるが，無から生じることもなくまた消滅することもない（＝エネルギー保存則），そしてあらゆる事象が

水を高温の鉄くず上で分解して水素と酸素を生成することを見出した(1783)。

エネルギーの変形として定義できると主張した。さらに熱が低温から高温側に流れない(＝熱力学第２法則)という力学では捉えることのできなかった概念をもたらし，時間の向きを規定した。

一方，ボルツマンは，原子論に立脚して気体の分子運動論を展開し，この熱力学第２法則を多数の原子・分子がとる運動状態の確率論的推移として力学的な基礎付けを行なった[6]。これに対してオストワルドは 1895 年に有名な講演「科学的唯物論の克服」を行ない，力学法則に従うものであれば時間が逆もどりできる過程も起こり得るはずなのに現実には決して観測されないこと，そして科学の課題は測定可能な量と測定可能な量との間の関係を規定することであると論じて原子論を非難した。

５．アインシュタインの確率論的証明（ブラウン運動の理論）

アインシュタインはまず力学方程式と確率論的な計算だけを使って熱力学第一法則と第 2 法則を得ることが必要であると考え，1901 年，1902 年に論文を発表しているが，1903 年に「熱力学の基礎の一理論」，1904 年に「熱の一般分子論について」を発表している。こうした研究を経て，1905 年に分子が実在することを証明する。

アインシュタインの考えはこうである：気体の圧力などは膨大な数の分子が壁に及ぼす力なので衝突の頻度や強さに分布（ゆらぎ）はならされて平均値だけが観測される。そこで気体分子中の１個の分子に着目する，それが無理でも観測できる何か小さい微粒子に着目すれば，まわりの分子からの衝突のゆらぎが観測されるはずである。ブラウン運動がその例であり，アインシュタインはこれを利用して分子の存在を実証しようとした[9,10]。もっともブラウン運動に観測される微粒子は周りの分子のおよそ 10^9 倍の質量をもち，1 秒間に周りの分子から受ける衝突数は 10^{16} にも達する。これを例えば t 秒毎にその位置を顕微鏡下で観測して記録し，理論からの予想と実験を比較する。この粒子にも前出のエネルギー等分配の法則が成り立つと仮定している：(1/2) $M\langle v_x^2\rangle=(1/2)k_BT$，また衝突が重なって微粒子の速度が次第に大きくなってくると抵抗が働いて速度は小さくなり，再び無秩序な方向に速度が増して，速度が小さくなり，この走っては止まり，走っては止まるを繰り返す。微粒子の速さは１～cm/s 程度，１回の向きを変えるまでの時間は 5×10^{-6} s ，

（t 秒間の微粒子の変位）の 2 乗平均=(5×10^{-6} cm)の 2 乗平均×(t 秒間の変位回数)

t=30 秒であれば 3×10^{-5} cm^2 の平方根を取り 50 μm，以上は気体中の話なのでこれを液体の水中に適用して 30 秒における変位は 5 μm というほぼ実験的に得られる値になる。アインシュタインの論文(1905)の後，ペラン（Perrin）は粘性係数（$1\sim125\times10^{-2}$ dyn･s/cm^2）が異なる種々の媒質と質量$(5\sim75000)\times10^{-14}$ g がさまざまな微粒子を用いたブラウン運動の実験（1908 から 4 年間）を行ない，アインシュタインの理論をほぼ確認した。すなわちそれぞれの場合でアヴォガドロ数を求めるときほぼ一定の値$(6\sim8)\times10^{23}$ になることを示した。ペランは，溶液中のコロイド粒子が重力の作用により溶液の上部よりも下部により多く分布するする様子を測定してやはりアヴォガドロ数（6.5×10^{23}）を求めた。

オストワルドは1908年にはブラウン運動が分子の熱運動によるとする理論が実験を見事に証明することを知り，原子論反対を取り下げた。マッハは，1910年，原子は有用な結果を導いているが存在は証明されたものではないと言っていたという。1911年の第1回ソルヴェイ会議では，プランクの熱放射の波長分布，アインシュタインの固体の比熱の理論とともに，ペランが「分子の実在の証明」と題する講演を行なった。この年(1911)，ラザフォード（Rutherford）はアルファ粒子の散乱実験の結果をまとめ原子の中心に原子核が存在することを見出し，その後，さらに原子核のもつ電荷が原子の原子番号に応じて１，２，３，４，・・のように単位ずつ増加することを見出した。1916年には，ラザフォードの学生であったモーズリー(Moseley)が原子核の周りの電子の状態が原子核の電荷の変化にともない規則的に変化することを電子励起後に放出されるX線の振動数を記録することから見出し，このことはやがて原子番号を決める有力な手段となったのである[6]。

６．結語

科学も技術もともに人類が過酷な自然に抗して「より良く生きる」ために必要なものであるが，科学が自然を理解することを目指すのに，技術はその自然に手を加え，加工して役立つことを目指す。これまでに人類は２つの大きな技術革新を経験したといわれる[7]：すなわち5,6 千年前の四大文明の時代と１８世紀に始まるいわゆる産業革命である。技術革新の後に人類の自然に対する知識経験は大いに進展した。その知識･経験を整理するときに思想が誕生する。第１の技術革新に続いて生まれたのが「原子論」であり，第２の技術革新の後に生まれた（あるいは生まれつつある）のが素粒子の統一理論をふくむ物質構造論であり，宇宙論である。人類が古くから抱いていた「万物はどのようにつくられたか」，および「宇宙はどのようにつくられたか」の疑問が解き明かされるのもまもなくのことと考えられる。

第１の技術革新の後に生まれた「原子論」は物質変化のさなかにあって「堅くて壊れることのない」永久不変の原子が存在することの仮定であったが，第２の技術革新の後では，電磁気・真空・動力などの技術により発見した放射線を用いて原子の中を通りぬけ，原子の中の構成粒子と相互作用させる手法によって，原子の中をしらべ，その性質（量子論および相対論的）をしらべる手法を身につけたのである。その存在はアインシュタインのブラウン運動に関する研究(1905)，ラザフォードの原子核の研究(1911)，モーズリーの放出エックス線の振動数と核電荷の関係をしらべた研究(1916)から実証されたといってよく，またその性質は量子力学の完成を待って(1925)はじめて原子についての確証を得たと言えるのである。

参考文献

1) J. バーネット（西川　亮訳）：「初期ギリシャ哲学」（以文社）（J. Burnet: Early Greek Phylosophy）

2) B. ラッセル（東宮隆訳）：「図説・西洋哲学思想史」(社会思想社)(B. Russell: Wisdom of the West)
3) 藤沢令夫：「ギリシャの科学」世界の名著９（中央公論社）
4) J. D. バナール（鎮目恭夫，林一訳）：「人間の拡張」（みすず書房）
5) 物理学史研究刊行会編：「気体分子運動論」物理学古典論文叢書５（東海大学出版会）
6) 大野陽朗監修，高村・藤井・須藤編「異端の科学史―近代科学の源流物理学編別巻」（北大図書刊行会）
7) G.チャイルド（ねず・まさし訳）：「文明の起源」岩波新書 66a（岩波書店）
8) 江沢　洋：「だれが原子をみたか」岩波科学の本 17，(岩波書店)
9) J.ペラン著，玉虫文一訳：「原子」(岩波文庫 33-910-1)(J. Perrin: The Atom)
10) A. アインシュタイン著，訳：アインシュタイン選集 1―特殊相対性理論・量子論・ブラウン運動―（共立出版）

『放射線教育』Radiation Education
Vol. 8 No. 1, p. 11 - 18 (2004)

天然原子炉と放射線教育

佐伯　正克
日本原子力研究所・物質科学研究部
〒 319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2-4
(2005 年 3 月 9 日　受理)

[要旨]　黒田和夫先生による天然原子炉に対する予言、およびフランス原子力庁による、ガボン共和国オクロ鉱床での天然原子炉発見の顛末、物的証拠やそれに基づく出力、稼働期間等に関し解説した。その後、天然原子炉を教材とする放射線教育に関し４例ほどを示した。最後に、天然原子炉に纏わる筆者の宝物を紹介した。

１．はじめに

放射線教育フォーラムに参画されている方は何方も、地球上に嘗て天然の原子炉が作動していたという事実を御存じであろう。ここでは、まず天然原子炉について紹介し、その後筆者なりに、放射線教育に対する天然原子炉についての知識の活用法を考えてみたい。

地球は約 46 億年前に、幾つもの微惑星が衝突合体して形成されたという。地球形成時には、衝突により 2.2×10^{22} J ものエネルギーが開放され、約１億年を掛けて、大気、地殻、マントル及びコアが分化形成されていった。この過程で、親鉄元素の多くはコアへと沈み込み、親石元素であるウランの多くは地殻およびその近傍に残存した。この過程の末期に、原始大気中の水蒸気が凝結して原始海洋が形成された。[1] しかし、原始大気中には水蒸気の光分解による、僅かな酸素のみしか存在せず、ウランは還元状態にあり、現在採掘されているようなウラン鉱床が形成されには、かなりの時間が必要であった。地球大気の特徴である酸素が高濃度に達するには、生命活動が開始されるのを待つ必要があった。

その後 10 数億年の年月を経、シアノバクテリアによる酸素の遊離が開始され、24 億年前から 19 億年前の間に急激に増加した。[1] そして、UO_2 として存在していたウランの多くが徐々に酸化され水溶性の６価ウランに変わり、水の移動や地形の変化によりウラン鉱床が形成され始めた。

そのようなウラン鉱床の中に、天然原子炉がかなりの数生まれ、僅か数十年の歴史しかない原子力工業に比べると非常に長い間、稼働していたという事実は誠に興味深いことである。天然原子炉が稼働している周りを、恐竜がノッシノッシと動き回っていたと考えると、もっと面白いのであるが、天然原子炉が稼働していたのは約 17 億年前であり、残念ながら恐竜の出現したのは、それから約 15 億年もの時間をおいてからである。

２．天然原子炉の予言

これも読者諸氏はよく御存じのことであるが、天然原子炉の予言は日本人科学者である黒田和夫教授により成された。1956 年のことである。

黒田教授は、1939 年に東京帝国大学理学部化学科を卒業し、戦後間もない 1949 年 8

月ミネソタ大学分析化学教室 E. B. Sandell 教授の研究助手のポストを得、渡米した。

渡米後 3 年を経て、アメリカ化学会が主催した初の「地球科学シンポジウム」で、黒田先生にとって初の招待講演を行う機会を得、「日本の温泉水中のラジウムおよびラドン」の報告を行った。会議後、アメリカ化学会誌がこれを大きく取り上げたこともあり、アーカンソー大学化学教室の R. R. Edwards 教授の研究室にポストを得た。

アーカンソー州にはホットスプリング国立公園があり、そこには放射能の強い温泉が湧き出している。湧出量は1日 400 万リットルに達し、R. R. Edwards 教授はこの温泉の熱源は原子力であると確信していた。アメリカ原子力委員会から研究予算を得、温泉水中に含まれるはずの核分裂生成物を検出する研究が継続されており、黒田先生もこの研究を行うことになった。研究は 1952 年から 2 年間継続されたが、温泉水中にはついに核分裂生成物は検出されなかった。しかし、黒田先生はその後、ウラン酸化物含量 41 %のウラン鉱石 2.5 kg から極微量の ^{89}Sr 及び ^{90}Sr を単離し、^{238}U の自発核分裂を実験的に証明した。この功績により、準教授に昇格した。1955 年のことであった。

天然原子炉が成立するためには、中性子による連鎖反応が継続しなければならない。黒田先生は、ウラン鉱石分析例の文献の中なら 124 個の鉱石を検討し、ヨハン・ゲオルゲンスタット産ピチブレンドを選び、中性子による連鎖反応が継続するか否かを時代を遡って計算した。この鉱石が中性子捕獲断面積の大きい希土類元素とトリウムを含まないと明記されていたためである。時代を遡るのは、^{238}U と ^{235}U の半減期が異なるため、時代を遡るほど、いわゆるウランの濃縮度（ウラン中に占める ^{235}U の割合）が高くなって行くからである。ウランの同位対比の変化を表1に示す。

表1　ウランの同位対比の年代による変化

時　代	^{238}U 半減期：44.7 億年	^{235}U 半減期：7.0 億年
現　在	99.3 %	0.7 %
7.0 億年前	98.7 %	1.3 %
14 億年前	97.7 %	2.3 %
21 億年前	96.0 %	4.0 %
28 億年前	93.0 %	7.0 %

計算の結果は、始めに存在した中性子の増加割合が時代とともに小さくなっていくというものであった。やはり天然に原子炉は出来なかったのだと、結論してしまうようでは後世に残る論文は書けなかったであろう。

黒田先生は、中性子の増加割合は水とウランの比によって決まる値である、今計算した結果は地質年代を通して、水とウランの比が変化しなかったとしたものであり、ウラン鉱床が地球上で完成していく過程と全く異なっている、と考えた。ウラン鉱床はウランが水により運ばれ、沈殿して形成が始まる。ウランが沈殿した後に水は取り除かれるはずであり、ウランと水の比は変化する。こう考え、ウランと水の比を変化させて計算をやり直す

と、「21 億年ばかり前に、比較的不純物の少ない天然ウラン鉱床中では、ウランの連鎖反応が臨界に達したはずである。」という結論に至った。

この報告は 1954 年 4 月のアメリカ地球物理学会で口頭発表され、その後 1956 年に J. Chem. Phys.に 2 つの論文として発表された。また、天然原子炉が発見された後に、日本原子力学会誌に、黒田先生は「天然原子炉の可能性に対する解析」と題する解説を寄稿された。[2] (この章の内容のほとんどは黒田先生の「17 億年前の原子炉」から引用したものである。[3])

3．天然原子炉の発見

人類が最初に原子炉の運転に成功したのは 1942 年のことであった。それからちょうど 30 年後の 1972 年 9 月、フランス原子力庁は「約 20 億年前の先史時代に、中央アフリカのガボン共和国の南東、フランスビルの近くにある露天掘りのオクロ・ウラン鉱床中に天然原子炉が作動していた証拠が発見された」と公表した。

天然原子炉発見の発端になったのは、フランス・ピュールラットのウラン濃縮工場において、天然の組成に近いウラン同位体分析用標準を作成中に、^{235}U の同位体存在比の異常値が観測されたことであった。1972 年 6 月ピュールラットのウラン濃縮工場の実験室で ^{235}U の同位体存在比として 0.7171 a/o（原子百分率）という値が観測された。この時までに観測された天然ウラン中の 3 つの核種 ^{234}U, ^{235}U および ^{238}U の同位体存在比は、それぞれ 0.0054, 0.720 および 99.25 a/o であり、^{235}U に対する実測値の誤差は 1/1,000 以下であると考えられていた。観測された異常値は、従来の天然ウラン中の ^{235}U の同位体存在比の誤差範囲を超えるものであり、この時は、この分析値は劣化ウラン（ウランの濃縮過程で生ずる ^{235}U の濃度の低いウラン）による汚染事故として処理された。しかし、１週間後に同種の試料を分析した結果、前回よりもさらに低い 0.7088 a/o という値が観測された。更に調査を進めるに従って、天然ウランよりも ^{235}U 濃度の低いウランが、UF_6 と UF_4 の化学形で大量に存在することが判明した。このため、^{235}U の同位体存在比が小さいウランの存在原因についての調査が実施された。

原因として、a)天然ウランと劣化ウランの混合、b)天然ウランと減損ウラン（原子炉で燃焼後再処理されたウランでやはり ^{235}U の濃度は低い）の混合、の２つの可能性が検討された。a)の可能性は、ピュールラットのウラン濃縮工場から出る劣化ウランの混入による汚染が考えられる。また、b) の可能性は、粗製硝酸ウランから UF_4 を製造しているマルベジ工場において、使用済燃料を再処理し回収した減損ウランが、天然ウランから作られた硝酸ウラニル、あるいは天然ウランから作られた UF_4 に混合され、汚染されたことが考えられた。これら２つの可能性について徹底的調査を行った結果、いずれの可能性も否定されたため、採掘されたウランそのものに原因が存在する可能性が検討された。

先のマルベジ工場における在庫と製品の流れを調査した結果、1972 年 5 月 9 日の出荷分から ^{235}U の同位体存在比低下が認められることが判明した。これに対応する原料のウランは、ガボン共和国からのイエローケーキ（粗製 U_3O_8）であることが分かった。ピュールラットのウラン濃縮工場で、この事実を基に、ガボン産出のウラン鉱石の同位体組成分析を実施したところ、^{235}U の同位体存在比が 0.440 a/o という低い値の試料が見いだされた。この鉱物試料は、オクロ鉱床で採掘されたものであった。この結果、汚染によると

考えられてきた ^{235}U の同位体存在比異常の原因は、天然起源のウランにあることが明らかになった。この異常現象を説明するには、天然原子炉の存在を考えるのが最も簡単である。（この章の内容のほとんどは黒田先生の「17億年前の原子炉」[3] および「天然原子炉」[4] から引用したものである。）

4．天然原子炉の物的証拠および稼働期間等

天然原子炉が本当に存在したか否かを証明するためには、^{235}U が不足していることを確認したのみでは不十分である。何らかの現象により、同位体異常が起きたのかもしれないからである。天然原子炉の物的証拠としては、「原子炉の燃えかす」すなわち核分裂生成物を確認するのが確実である。やや放射化学的になりすぎるきらいがあるが、以下にその探索過程を概述する。

オクロ鉱床から採取された２種類の試料（試料１：^{235}U の同位体存在比が 0.440 a/o および試料２：0.592 a/o）から希土類元素を分離し、更にこの希土類元素中からネオジム（Nd）を分離し、その同位体組成を測定した。文献 4)の表 6 を基に作成した分析結果を表 2 として示す。試料 1 および試料 2 の欄に示した数字は、核分裂生成物中に存在しない ^{142}Nd の値を用いて天然のネオジムの寄与を差し引いた値である。

表２　オクロ・ウラン鉱石中のネオジムの同位体組成

試料	試料１ ネオジム同位対比	試料２ ネオジム同位対比	核分裂起源ネオジム同位対比	天然ネオジム同位対比
^{142}Nd	0　%	0　%	0　%	27.11 %
^{143}Nd	22.6	25.7	28.8	12.17
^{144}Nd	32.4	29.3	26.5	23.85
^{145}Nd	18.05	18.4	18.9	8.30
^{146}Nd	15.55	14.9	14.4	17.22
^{147}Nd	8.13	8.20	8.26	5.73
^{148}Nd	3.28	3.46	3.12	5.62
^{143}Nd + ^{144}Nd	55.0	55.0	55.3	36.02

これらの値を見ると、試料１および２共に、^{145}Nd から ^{148}Nd までの数値は核分裂起源ネオジム同位対比とかなり良く一致しているが、^{143}Nd の値は明らかに小さく、^{144}Nd の値は明らかに大きいことも直ぐ分かる。しかし、^{143}Nd の中性子吸収断面積は大きいので、天然原子炉が作動中に、$^{143}Nd\ (n,\gamma)\ ^{144}Nd$ の反応により、^{143}Nd が ^{144}Nd に変換されたとも考えられる。そこで、両者の和を最終行に示した。試料 1 および 2 共にその値は核分裂起源のネオジム同位体比と良く一致し、確かにこの試料中には核分裂の証拠が含まれていると結論された。

現在までに天然原子炉は少なくとも 16 基発見されている。ではこれらの原子炉はいつ

頃作動していたのであろうか。ルビジウム・ストロンチウム法、カリウム・アルゴン法等による周辺の岩石の年齢は約 18 億年前と求められている。オクロ鉱山があるフランスビル堆積盆地周辺の火成岩と変成岩の年齢は、約 22 億年と報告されている。オクロ鉱床の鉱物化の年齢として、ウラン・鉛法による結果は、17.5 から 20.5 億年となっている。従って、これらから推測される年代は約 20 億年前と言うことになる。黒田先生は 17 億年という数字を採用されている。

作動期間や天然原子炉稼働中の中性子束密度（原子炉の出力と関係する）等に関する考察は、更に放射化学的になるのでこれ以上の説明は省略するが、例えば上に示した $^{143}Nd(n,\gamma)^{144}Nd$ の反応のような変換過程を利用することにより、科学的に検討された。

その結果、平均出力は約 30 kW と小さく、現在の平均的家庭の場合には、数世帯分のエネルギーを賄えるに過ぎなかった。しかし、稼働した期間は非常に長く、約 60 万年もの間燃え続けたようである。^{235}U の不足分から計算される全出力は、100 万 kW 級の原子炉 5 基が、全出力で 1 年間稼働したときの出力に匹敵する膨大なものであった。消費された ^{235}U の量は、最初に発見された 1 号から 6 号原子炉で、現在の値に換算すると 600 kg 程度であるが、実際に燃焼した量はその約 10 倍の 6 トン程度と考えられている。

これは、壊変による減少も考慮されているが、原子炉中では ^{235}U の燃焼に伴い ^{238}U が ^{239}Pu に変換され、長い目で見るとα壊変して再び ^{235}U に戻り ^{235}U が補充されるからである。^{239}Pu の半減期は 24,100 年と長く、一部は原子炉中で ^{235}U と共に燃焼する（いわゆるプルサーマル燃料と同じことである）が、20 億年の話をする場合には、この半減期はほとんど無視し得るような短時間であり、燃え残った ^{239}Pu は全て ^{235}U に壊変してしまっているからである。原子炉中での ^{235}U および ^{238}U の中性子による核変換の様子を図 1 に示す。核分裂生成物（Fission Products）の中には、先に述べたネオジム同位体等が含まれている。

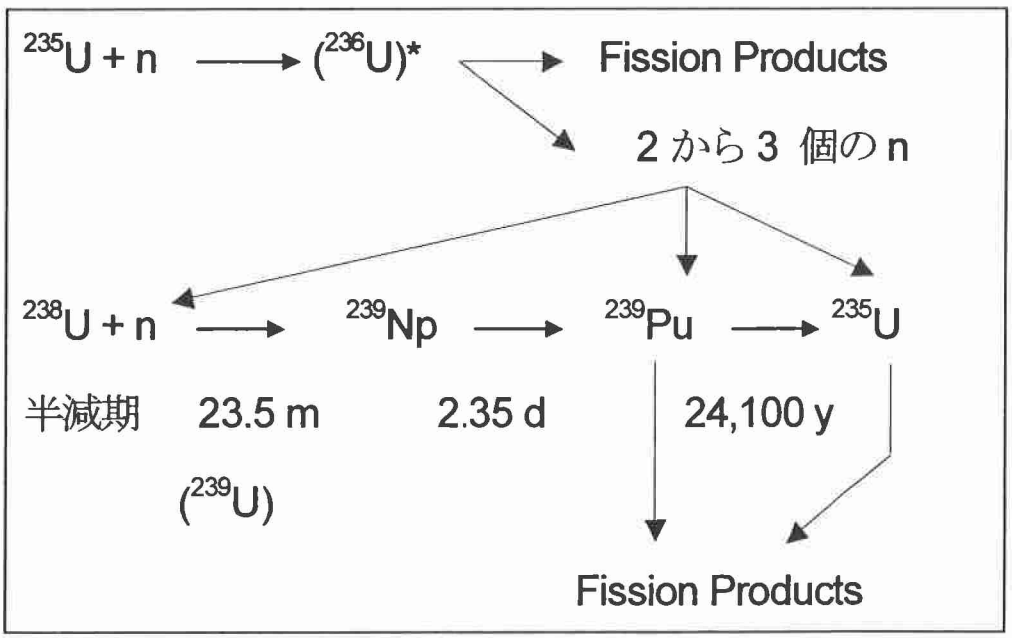


図 1　原子炉中での中性子核反応と ^{235}U の再生産

５．天然原子炉と放射線教育

天然原子炉はここまで紹介してきたように、当然のことながら、全て放射性核種を基に予言され、また実証されてきたと言える。従って、天然原子炉に関する研究成果は、放射線教育に利用しうる事実を沢山含んでいると考えられる。少なくとも次のようなことについて学ぶことが出来る。

第１に、放射性物質は地球上に普遍的に存在しており、太古の岩石等は放射性壊変に基づく年代決定法（年代測定法）を駆使して、その年代が決められていることである。年代決定は、対象とするものにより放射性核種を使い分け比較的短い年代から、非常に長い期間まで種々の方法が確立されている。例えば、トリチウムを用いることにより、ワインの年代を決定するという僅か数１０年前の事象から、数千年から数万年という人類の文化遺産を探るのに好都合な ^{14}C 法、さらには先に述べたような地球創世期に迫るような手法（Rb-Sr, U-Pb, U-He, K-Ar 法等）までを含んでいる。対象者により興味を持って貰えると思われる対象物と手法を組み合わせることにより、色んな話を組み上げることが可能であろう。

第２は、放射性核種には特有の半減期が存在し、人間の一生の間にはほとんど減衰しないと思われる、^{235}U や ^{238}U 更に ^{239}Pu のような長寿命核種も 17 から 20 億年というスケールで見ると、減衰するのが良く分かるばかりでなく、長いと考えられている ^{239}Pu の半減期は無視しうる程度のものとなってしまうことに気付かされる。また、半減期は時代を遡ることにより、放射性物質が現在の量より増えていくことを示しているわけであるが、余りこのことは考えないものである。太古の時代にはウラン全ては現在でいう「濃縮ウラン」であったということが良く理解できる。

筆者が原研の研修部門に在籍したとき、比較的初歩的な講座の受講者に対し、天然原子炉を教材とし、放射性物質の半減期と普遍的存在性に力点を置き講義したことがある。終了後、一人の中年の受講者から、非常に良く放射性物質というものについて理解することが出来た、と感想を述べられた。切り口を変えて話すことの重要性に対し、気付かされる出来事であった。

第３に、黒田先生が「地球上には天然に原子炉が稼働した可能性があると考えた過程」、すなわち「水の存在により中性子は減速され、連鎖反応は維持される」ことの分かり易い説明により、一般の方に原子炉の原理を説明することも可能であろう。

第４の利用法は、よく言われることであるが、放射性廃棄物の処理処分に関する貢献であろう。被覆されないむき出しの使用済燃料が、20 億年近くもの長期間、露天掘りが可能であった程度の地表近くで、かつ熱帯の高温多湿地帯（現地は筆者が想像するよりは温暖な気候のようであるが、日本より高温多雨であることは間違いないであろう。また、20 億年間ずっとこの条件であったわけではないにしろ、ナイル川河畔に文明が発達した後の少なくとも数千年間は今の状態のはずである）という悪い条件下に放置されていたという事実から学ぶことは多いはずである。６価ウランのように水溶性の物質が鉱床を作るとそれ以後は非常に長期にわたってほとんど動いていないという結果は、化学屋の筆者にとって非常に興味有るものである。また、核分裂生成物中で問題となる核種の１つである、^{90}Sr（半減期約 30 年）は娘核種の ^{90}Zr としてほとんどが残留していること[5]を考えると、廃棄物の管理を何千年というオーダーで考えなくても良いのではないかとさえ思えてくる。

（すなわち、比較的移動しやすい２族元素の希土類は２回のβ壊変により、非常に難溶性の４族元素に変換される。）こう考えるのは筆者のみかもしれないが、少なくとも放射性廃棄物を、数千年という時間の間安定に存在させることは可能だといえるのではないだろうか。その他の核種の挙動についてもっと詳しく調べたい方は、文献5)を参照されたい。

６．おわりに

ここでは天然原子炉に関する予言と、発見に纏わる経過、および天然原子炉の作動状況などを文献に基づいて紹介し、天然原子炉を教材とし、放射線教育を試みる幾つかの例を挙げさせて頂いた。参考になれば幸いである。

最後に、天然原子炉に纏わる筆者の宝物を紹介したい。次に示した升の写真には、以下のような少し長い話が付いている

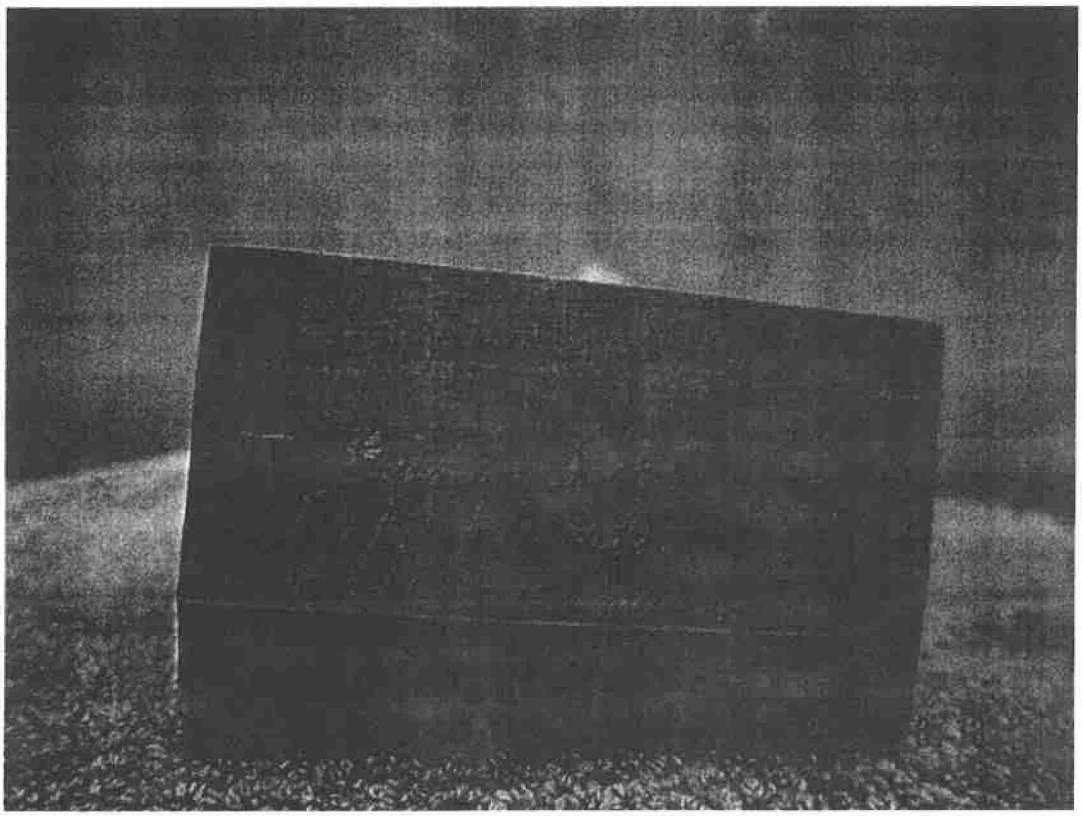


写真　１　天然原子炉に纏わる筆者の大切な記念品

まず、1986 年 10 月 22 日-24 日まで仙台で開催された第 30 回放射化学討論会の際、特別講演者として来日された黒田和夫先生に、懇親で提供された升にサインをして頂いた。何年か後（直後であったかもしれないが、定かでない）、阪上正信先生が東海村に来られ、同窓生が先生を囲んで夕食を共にした。その席で先生が「今、来日されているフランスの科学者で、オクロ天然原子炉の科学的発見者の１人である E. Roth 博士を金沢にお連れする。」と話された。

E. Roth 博士は、東海村の東大弥生炉で開催される国際会議に参加されるため来日され

ていたものであり、たまたま私も参加することになっていた。そこで、黒田先生のサイン入りの升を持参し、会議に出かけ会場で E. Roth 博士に「これは天然原子炉の予言者である黒田教授のサイン入りの升というものである、天然原子炉は質量分析計により同位体異常を検出することで確認されたと聞く、質量分析計（Mass Spectrometer）を日本語では「マス（Mass）」と略す、升（(Mass）の上に予言者と発見者のサインを並べたい」と（言ったつもりであったが、そう伝わったかどうかは定かでない）お願いしてサインして頂いた。

更に、黒田先生が 1994 年に再び来日された折り、原研で講演して頂いたが、その際、この升をお見せしたところ、「これは面白い、しかし日付がない、私が確認した日付を入れてあげましょう」とサインと日付を書き入れて下さり、現在の姿が完成した。

その際、黒田先生は、「これで 5,000 円くらいにはなるでしょう」とおしゃってにっこり微笑まれたことを今でも鮮明に記憶している。黒田先生が亡くなられた今、放射化学者であった筆者の大切な記念品（宝物）であり、例え 5,000 円以上出すからで譲ってくれと言われても、お譲りは出来ない、読者の方には２年ほど前に、筆者が撮った上に掲げた写真で我慢して頂きたい。

参考文献

1) 平朝彦他著、岩波講座地球惑星科学 13「地球進化論」、岩波書店（東京）、1998.
2) 黒田和夫、日本原子力学会誌、**19** (4), 225-232 (1977).
3) 黒田和夫著、「17 億年前の原子炉」－核宇宙化学の最前線－、ブルーバックス B720、講談社（東京）（1988）.
4) 藤井薫著、「天然原子炉」東京大学出版会（東京）（1985）. および、藤井薫、日本原子力学会誌、**27**(4), 304-324 (1985).
5) R. Hagemann and E. Roth, Radiochimica Acta, **25**, 241-247 (1978).

「放射線教育」Radiation Education
Vol. 8 No. 1, p. 19 - 24 (2004)

原子力発電はどのくらい安全か？

村主　進
原子力システム研究懇話会
〒105-0001　東京都港区虎ノ門1−7−6　升本ビル4階
(2005年3月11日　受理)

要約

原子力発電所で炉心が損傷して、大量の核分裂生成物を環境に放出するような事故が発生したときのリスクは一般の人によく知られていない。

そこで、チェルノブイリ事故における放射線被ばくや地表の放射性汚染の現状から、大量の核分裂生成物が環境に放出される事故に遭遇した場合のリスクを求めた。その結果、このような事故に遭遇した場合でも、過剰死亡確率は 0.005 となる。一方、自動車事故における過剰死亡確率は0.009である。

また、わが国の軽水炉で、炉心損傷が起こり、次いで原子炉格納容器が破損して、大量の核分裂生成物が環境に放出されるような事故の頻度を考えると、原子力発電所は自動車事故より1万倍以上安全である。

1.はしがき

本誌 Vol.4 No.1(2000 年)に「暮らしとリスク」[1]を執筆し、原子力発電所が炉心損傷を起こし、放射性物質を大量に放出するような事故はどの程度のリスクになるかを述べた。このときは暮らしのリスクについて述べるのが主な目的であったので、読者は原子力発電のリスクについてあまり理解していないように思える。そこで今回原子力発電所の事故のリスクに主眼を置いて述べることにする。

内容に前論文との多少の重複があるが、本論文をよく理解できるようにするために、多少の重複は理解いただきたい。

炉心損傷のリスクを求めるためには二つの方法がある。一つは確率論的リスク評価によるもので、他は炉心損傷事故の事例を調査評価する方法である。

確率論的リスク評価は多方面にわたりリスク評価ができる。しかし原子力発電プラントの詳細な構造を知らない人にはリスク評価の内容を理解するのが難しい。

炉心損傷事故の事例を調査評価する方法は、観測された放射性汚染や放射線被ばくが直接リスクにつながるので、素人に分かりやすい。

そこで、ここではチェルノブイリ原子力発電所の事故の事例より、事故に遭遇したときの、周辺住民の生命に関するリスクを求め、次に炉心損傷事故を起こす頻度については、確率論的リスク評価の結果を用いることにした。

原子力発電所について話をしていると、原子力発電所の事故のリスクはどの程度であるかについて誤った知識を持っている人が多い。これは一般の人は、原子力に関する知識をマスメディアの報道によって得ているのみで、適切な図書による知識を持っていないからである。

マスメディアはニュース価値のある事象のみ報道し、またニュース価値が高くなるよう

に編集するので、これを読んだ一般の人は誤った解釈をすることが多い。

そこで、原子力発電所のリスクについて読者に正しい知識を持てもらうために、リスクを定量的に評価したものを、分かりやす説明した。

2．原子力発電所の事故に遭遇したときのリスク

「原子力発電所はどの程度安全か」を知るためには、原子力発電所はどの程度危険かを知ることが必要である。このためには原子力発電所の大事故例を詳細に調査すればよい。

1986 年４月に、旧ソ連で電気出力 100 万ｋＷの原子力発電所が炉心損傷事故を起こした。この原子力発電所は、核分裂生成物の環境への放出を抑制する原子炉格納容器がない上に、可燃性の黒鉛が原子炉の炉心の構成要素であった。このために、事故によって炉心は損傷し、しかも炉心は 10 日間も燃えつづけ、炉心の核分裂生成物はこれ以上考えられないくらい多量に環境に放出した。(2)

この事故で非常に高く汚染された区域は居住禁止にし、ある程度高い汚染区域（厳重管理区域）では健康状態を監視する条件付で居住を許された。

居住禁止区域の住民には、移住費用、移住後の生活保障などの諸々の補償費用の支出があり、その他にも汚染除去費用、汚染食品廃棄費用などの費用の支出がある。この経済的な損失は莫大であるが、経済的な損失は原子力発電所の電力供給による経済的利得と比較すべきもので、ここでは触れない。

事故による放射線被ばくが高いグループは、避難住民と厳重管理区域住民である。このうち生涯の期間の放射線被ばくを考えると、厳重管理区域住民が最も高い放射線被ばくをするグループとなる。

チェルノブイリ事故における厳重管理区域住民の放射線被ばくを基にして、わが国において万一、大量の核分裂生成物を放出するような炉心損傷事故が生じた場合の、最も高い放射線被ばくをするグループのリスクを評価してみる。このために、厳重管理区域住民の平均寿命を日本人と同じく 80 歳として、厳重管理区域住民の生涯の 80 年間における死亡確率(過剰死亡確率)を求めると約 0.005 と評価される (4.1 節参照のこと)。

これを日常生活における事故と較べて見る。例えばわが国の自動車事故を考えれば、80 年間の生涯における自動車事故による死亡確率（過剰死亡確率）は 0.009 である (4.3 節参照のこと)。

自動車事故のリスクの評価の母集団はわが国の全人口であるが、自動車事故のリスクは全国的にほぼ均一であると考えられるので、原子力発電所近辺においても自動車事故のリスクは 0.009 と考えられる。

このことは、健康上のリスクに関しては、チェルノブイリ事故のような炉心損傷事故のリスクは、自動車事故のリスクより少ないか、若しくは評価誤差を考えても同程度であると言える。

3．事故の頻度を考慮したときの原発事故のリスク

自動車事故は毎年発生しているが、炉心損傷事故は生涯の 80 年間に一度も起こらないと考えてよい。

事実わが国では約 1,000 炉･年(各原子炉の運転年数を全原子力発電所について加算した総和)の運転実績があるが、大量の核分裂生成物を放出するような炉心損傷事故は一度も

起こしていない。このことは一基(炉)の原子力発電所に換算すると、1,000 年間も炉心損傷事故を起こしていないことを意味する。

一方、確率論的リスク評価手法を用いて、わが国の原子力発電所における配管破断、機器故障の実績および人間の作業ミスなどの実情を基にして炉心損傷頻度およびそれに引き続いて起こる格納容器破損頻度を評価している。そして炉心損傷・格納容器破損事故の頻度は炉・年あたり 1×10^{-7}以下と評価されている (4.2 節参照のこと)。

原子力発電所敷地内に 10 基(10 原子炉)の原子力発電所があるとして、日本人の生涯の80 年間にこの敷地内で炉心損傷・格納容器破損事故を起こす頻度は、

1×10^{-7}(／炉・年) $\times10$(炉)$\times80$（年）$=8\times10^{-5}$

となる。

炉心損傷･格納容器破損事故に遭遇した場合でも、最も高い放射線被ばくをするグループのリスクが自動車事故のリスクと同程度であるので、炉心損傷・格納容器破損事故発生頻度を考えると、原子力発電所の安全性は自動車事故よりも一万倍以上安全であることになる。

なお、過去に炉心損傷事故を起こした米国のスリー・マイル島原発、旧ソ連のチェルノブイリ原発はわが国の原子力発電所とは安全設計の異なるものであって、わが国の原子力発電所の炉心損傷事故頻度の参考になるものではない。

4．用いたデータベースについて

4.1 厳重管理区域住民の過剰死亡確率

UNSCEAR (国際連合科学委員会) 2000 年報告書 ANNEX J [3] のチェルノブイリ事故報告によれば、厳重管理区域の住民の人口および事故発生年の 1986 年より 1995 年まで(事故後 10 年間)の集団線量の評価は表 1 のとおりである。すなわち旧ソ連邦の 3 国の合計で、人口は 193,367 人であり、この集団の 1986 年～1995 年の 10 年間の集団線量は外部被ばくで 6,055 人・Sv、内部被ばくで 1,963 人・Sv と評価されている。

表 1　厳重管理区域住民の人口と集団線量の評価値(1986 年～1995 年)

国名	人口(人)	集団線量(人・Sv)	
		外部被ばく	内部被ばく
ベラルーシ共和国	97,593	3,433	1,150
ロシア連邦	95,474	2,611	799
ウクライナ国	300	11	14
合計	193,367	6,055	1,963

(国際連合科学委員会 2000 年報告書より作成)

次に生涯(1986 年～2056 年の 71 年間)の集団線量を求める。UNSCEAR 2000 年報告書のように、外部被ばくでは、最初の 10 年間(1986 年～1995 年)の集団線量は生涯の集団線量の 60%とし、内部被ばくでは、最初の 10 年間の集団線量は生涯の集団線量の 90%とすれば、内部被ばく、外部被ばく合計の 71 年間の集団線量は 193,367 人の集団で

6,055(人・Sv)÷0.6＋1,963(人・Sv)÷0.9＝12,273(人・Sv)

となる。

厳重管理区域住民の人口 10 万人あたりに換算すれば、71 年間の集団線量は

12,273(人/Sv)÷1.93367＝6,350 人・Sv

となる。1 人平均では 64mSv である。この値がチェルノブイリ事故で、最も被ばくした住民集団の生涯の集団線量である。

この値は事故発生後より 71 年間の集団線量の値である。しかし、毎年の被ばく線量の実効半減期は 4 年程度と非常に短いので、事故発生後 80 年間の集団線量は事故発生後 71 年間の集団線量とほぼ変わらない。そこで平均寿命 80 歳の日本人に対しても、同じような事故が起きたときに、事故による集団線量は、人口 10 万人当たり 6,350 人･Sv とする。

ある集団が被ばくした生涯の集団線量をこの集団の単位人口で割った値、すなわち 10 万人あたりの集団線量の値は、地表の汚染分布が同じならば、日本のような人口稠密な国でも人口希薄な国でも変わらない。

そこで、わが国の原子炉事故のリスクを求めるにあたって 10 万人あたり 6,350 人・Sv の値を用いることにする。

また、一般人(住民)の放射線のリスク係数は 0.079／Sv とする。(注 1)

上述の前提の下では、集団の人口 100,000 人について 80 年間における死亡者は

6,350 人・Sv×0.079/Sv=502 人

である(注 2)ので、

過剰死亡確率＝502(人)÷100,000(人)＝**0.005**

になる。

4.2 炉心損傷事故発生の頻度

炉心が損傷するような大事故は恐らく人の一生のうちに経験することはないであろう。子、孫の時代にも経験することがないであろうと考えられる。そこで何世代もの住民に対してどの程度のリスクになるのかを以下に述べる。

原子炉施設には事故防止のために、多数の安全系の機器が設置されて、深層防護と称する厳重な事故防止対策がなされている。したがって幾つかの機器の故障や人の誤操作があっても炉心が損傷するような大事故には発展しない。しかしこの何重にも設けられた事故防止機器が同時にすべて故障するときには炉心損傷事故が起こり得る。そしてさらに炉心損傷事故が発展すると格納容器破損事故に発展することになる。

炉心損傷事故および格納容器破損事故の頻度は、原子力発電技術機構において確率論的リスク評価手法を用いて評価されている。その評価結果は表 2 のとおりである。(5)

(注 1) 放射線のリスク係数とは、単位被ばく線量当たりの生涯死亡率をいう。ここではリスク係数として、米国科学アカデミーの BEIR-Ⅴ報告書 (4) にある、一般人の 0.1Sv の全身被ばくの場合の男女平均の値の 0.079／Sv を用いることにする。

(注 2) チェルノブイリ事故で、人口 10 万人あたりの死亡者が 80 年間で 502 人と述べているが、これは観測されたものではない。この値は一般人の放射線のリスク係数より、計算によって求められたものである。

自然発生のガンは、発生率で 10 万人当たり年間約 300 人、死亡率で 10 万人あたり年間約 150 人である。原子力発電所の事故による死亡者が 80 年間で 502 人とは、平均で年間に約 6 人となり、自然発生のガンの統計的変動の中に隠れてしまう。

表２　代表プラントの炉心損傷頻度および格納容器破損頻度

	BWR（／炉・年）	PWR（／炉・年）
炉心損傷頻度	8×10^{-8}	1×10^{-7}
格納容器破損頻度	5×10^{-8}	1.5×10^{-8}

(原子力発電技術機構の報告書より)

なお、最近はアクシデントマネージメント(注3)が整備され、このための手順書も纏められ、利用できるようになったことから、表にはアクシデントマネージメントを行った場合の炉心損傷頻度および格納容器破損頻度を示している。したがって 7 年前の「放射線教育」誌に記載の「暮らしとリスク」の第 4 表の炉心損傷頻度より約 1 桁頻度が低くなっている。

炉心が損傷して大量の核分裂生成物が放出されるのは、**炉心が損傷して、しかも格納容器が破損**したときである。この事故の頻度は、BWR、PWR のうち高い値は5×10^{-8}／炉・年であるが、これを多めに見積もって**1×10^{-7}／炉・年以下**とする。

4.3 自動車事故による過剰死亡確率

われわれは日常生活において常に自動車事故など不慮の事故に遭う危険にさらされている。厚生省の人口動態統計から人口 10 万人あたりの自動車事故による死者数の推移をまとめると表 3 のとおりになる(6)。なお、平成 7 年からは「自動車事故」の項目は設けず、自動車事故およびその他の交通事故をまとめて「交通事故」として集計するようになったので、この表には平成 2 年までの統計を示している。

この表から見ると戦後の昭和 25 年あたりは自動車の普及していない時代であって、自動車事故による死者数は少なかったことが分かる。その後昭和 45 年ごろまでは自動車の普及とともに死者数が増加してきた。昭和 50 年ごろより死者数の増加を食い止めるために交通取り締まり、法規の改正、交通信号の整備、運転者のマナーの改善規制などにより、現在では自動車事故による死者数は 10 万人あたり約 10 人程度にまで低下している。

表３　自動車事故による死者数の推移
(人口１０万人あたりの死者数)

年	昭和25年	昭和30年	昭和35年	昭和40年	昭和45年	昭和50年	昭和55年	昭和60年	平成2年
死亡者数／10万人	3.7	6.7	14.4	16.5	20.9	12.8	10.1	10.5	11.9

（厚生省、統計情報部「人口動態統計」より）

昭和 55 年より自動車事故の死亡率が安定していることから、人口 10 万人あたりの将来の年間死亡者数を昭和 55 年、60 年、平成 2 年の死亡者数の平均値、すなわち

(10.1＋10.5＋11.9)÷3＝10.8 人

とする。日本人の平均寿命を 80 歳とすると、生涯における自動車事故の死亡者は

(注3) アクシデントマネージメントとは、原子力発電所の安全確保のために設置されている安全系以外の、通常運転に使用されている系統や施設を使って核分裂生成物を環境に放出するような事故への発展を防止することをいう。

10.8 人×80 であるので、

過剰死亡確率＝10.8×80÷100,000=0.009

となる。

5．終わりに

原子力発電所の事故のリスクが低いという話は、読者の皆さんが始めて聞くことかもしれないが、これは客観的事実である。本論文を読めば原子力発電がどのくらい安全か知ることができよう。

但し炉心損傷事故の発生頻度は、現状の機器の故障率および作業ミスの頻度によって評価したものである。機器の故障率および従業員の作業ミスが多くなれば、それだけリスクも上昇する。このため、原子力発電所の老朽化に対して十分の対策を実施して、配管の破断や機器の故障を起こさないようにし、また従業員の教育訓練も充実して、作業ミスをしないようにすることが原子力発電所を安全に利用するための要件である。

なお今回は原子力発電所の事故のリスクと自動車事故のリスクを比較したが、その他の日常生活のリスクについては本誌 Vol.4 No.1 (2000 年）の「暮らしとリスク」を読んでもらいたい。

参考文献

1．村主　進：暮らしとリスク、放射線教育　Vol.4, No.1(2000)

2．OECD　NEA : Chernobyl Ten Years on –Radiological and Health Impact (1995)

3．United Nations : UNSCEAR 2000 Report - Source and effects of Ionizing Radiation ANNEX J (2000)

4．原子力安全研究協会：低線量電離放射線被ばくによる健康影響－BEIR-Ⅴ－概要と解説 (1991)

5．原子力システム研究懇話会：原子力とそのリスク第 4 章 (2004)

6．総務庁統計局：第 43 回、第 46 回、第 49 回日本統計年鑑

「放射線教育」Radiation Education
Vol. 8 No. 1, p. 25 - 30 (2004)

社会技術としての放射線教育

大島　浩
佐野日本大学中学高等学校
〒327-0843　栃木県佐野市石塚町 2,555
(2005 年 3 月 16 日　受理)

「科学コミュニケーション」といっても、いろいろな位相がある。環境教育・エネルギー教育の一翼を担っての放射線教育フォーラムの活動も、専門家と非専門家（一般市民）をつなぐ科学コミュニケーションの領域で活動するセクターである。フォーラム結成 10 周年を経過して繰り返される、専門家と非専門家（この区分もややあいまいになりつつある点も指摘しつつ）の齟齬の原因とその克服を目指して、社会技術としての放射線教育の展開を提案したい。

1．「欠如モデル（deficit model)」の妥当性

放射線教育、あるいはフォーラムの活動は、言うまでもなく（放射線の）専門家と非専門家（一般市民）との間を取り結ぶ、科学コミュニケーションの領域にある。そこには明らかに放射線に関する知識の量、経験、加えてその「判断力」に圧倒的な非対称性が存在すると仮定されている。知識量や経験に大きな隔たりがあることは異論のないところである。しかも黒杭らの報告[(1)]に見られるように、市民だけでなく、学校教育を担うべき現職教員やマスコミ関係者の放射線に対する知識や意識に、看過しがたい不足や誤解がたくさんあることが課題となっている。このことの帰結として、直ちに「国民に必要な放射線知識を・・」、「報道関係者と学校教員について・・改善を図る。」の放射線教育の活動が始まることは当然と言えよう。

しかしこれら活動の展開にも関わらず、原子力エネルギーや放射線に対する意識は、原子力文化振興財団の意識調査[(2)]をはじめとして、余り変化していないと言わざるを得ない。エネルギー教育、あるいは原子力エネルギーに対する国民の理解を得る活動は、単に放射線教育フォーラムの活動だけではなく、国家的規模で展開されている施策、活動である。従って、この“(エネルギー教育）啓蒙主義”には何らかの手法的な誤りがあるのではないかと考えざるを得ない。そこで、知識（経験)、「判断」、行動の三段論法における、知識、経験の後にくる「判断」を吟味してみる必要がある。

放射線教育において、知識、経験については「事実」に関する学習を経ることであり、判断は、それらの過程を経て行われるはずである。しかしながら知識や経験を得てからの「判断力」とは、私個人にとっての「価値」についての判断であることに注意しなければならない。従って知識・経験を積めば、そこから直ちに意図するような判断が引き出されるとは限らないのである。

２．市民（生徒）の「無知」と科学技術（あるいは専門家）の「無知」

６０年代は原子力エネルギーについて明るい未来を語れる時代だった、と懐古的によく言われる。私たちにとって、「常陽」に原子力の火がともったときの感動は未だに忘れられない。考えてみれば、当時よりも原子力は発電規模やそのエネルギー源としての重要性が遥かに増しており、明るい展望を持って良いはずである。廃棄物処理の問題や想定外の事故、トラブルを抱えながらも、商業炉として安定的に運転されているからである。なぜ国民からエネルギー源としての的確な判断や存在意義が認められないのだろうか。原発立地県の住民の複雑な感情を斟酌しても、私たちは放射線教育について余りにも表面的な説明をしてきたのではないだろうか。

技術にはその利便性とリスクとが表裏一体の関係になっている。しかし私たちは、たとえば交通事故死の膨大さがいかに異常であろうとも自動車の恐怖を声高には語らない。その利便性と引き換えに、リスクを心理的に小さく見積もっているからである。放射線教育において、私たちは事実を通して利便性とリスクを冷静に語り過敏な反応をしないよう説いてきた。このことからすれば、市民は原子力エネルギーに対してだけは極めて潔癖にゼロリスクを求めている、ということになるのだろうか。

市民が社会生活で「判断」を下す場合、次のような準拠枠を用いるとミラーによって指摘されている。「フレーミング」[(3)]によれば、

(1)　科学技術の社会的影響、意義、目的や不確実性（予測不能性）について、どうか。

(2)　関係する人物や組織の信頼性や責任関係について、どうか、の２点である。

市民が原子力発電の安全性や放射性廃棄物あるいは放射線に関して抱くイメージは、電力中央研究所の調査[(4)]によれば、特に（1）についての、予測不能性に対する不安感に起因するものと考えることができる。それは起こりうる危険や管理可能なリスクに対する「科学的無知」ではなく、科学技術（しかも巨大技術でブラックボックス化しているもの、日常生活からは隔絶しているもの）には常に予測不能な事態が生起し、しかもひとたび事故が発生するとそれはカタストロフ的に不特定多数が被災する惨事につながりかねないという、恐怖を伴った、事後を予測できないという「無知（知ることができない）」に対する判断がはたらくというものである。従って、放射線教育を通して「科学的合理性」を獲得し身につけてもらうという努力は今後も続けていかなければならないのだが、人々の価値判断の根拠となる、予測不能性に対する忌避的態度も同時に変えていく方法が必要だと言わねばならない。

３．知りたいことを教えてくれない

放射線教育の活動を専門家と非専門家の間を結ぶ科学コミュニケーションの媒介とすれば、従来は天下り的に「専門知識を分りやすく」あるいは「日常生活に根ざして」といった発想が出てきがちであった。しかし、立場を受け手（非専門家、市民）の視点に転換してみたい。原子力発電のしくみも原子核反応も興味深いし理解はしたい。けれども本当に

知りたいのは「原子力発電がなぜ必要なのか」、「事故が起きたときどうなるのか」といったことではなかろうか。核反応の「物理学的説明」からは全く出てこない、生活に根ざした極めてプリミティブな疑問である。しかも人々の持つリスク基準は、リスク＝損失×発生確率であるとき、発生確率はたとえ高くとも、被るダメージの小さい方を選ぶ（バイアスがかかる）傾向にあるのだ。（自動車事故と航空機事故のどちらに不安感を覚えるか考えると分りやすい。受けるダメージは確かに航空機事故の方が大きいだろう。しかし事故の発生確率は、自動車事故の方が航空機事故よりもはるかに大きいのだ。しかも自動車事故とて軽微な損傷で済むことはけっしてない。それにも拘わらず、航空機はハイリスクなものとして認識してしまうのである。）

「それなりの知識」があれば不安はなくなり、対立は自ずと解消していくものではないのである。「原発を廃止する国があるのに、なぜ推進する必要があるのか」、「風力発電などのクリーンで安全な自然エネルギーで賄えないのか」、「原発反対の人がいるのはなぜか」・・。

これらに適切に答えていくことが必要である。このことは、科学的知識理解の基礎に立ち、しかもこれら科学知識の合理的理解を包含した、社会的な必要性を判断する、社会的合意形成を目指す、言わば社会的合理性の理解を目指す教育が施されなければならないということである。よりよい社会生活のためには、営むための市民教育が必要なのだ。しからば、誰が、どのような立場で、どのように社会的合理性を目指した教育を行えばよいであろうか。

４．社会的合理性の理解（社会技術）を促す教育

上のような提起をすれば、既に放射線教育（フォーラム）の活動それ自体が社会生活の向上を促す教育ではないかと反論されよう。その通りである。しかし、社会技術を促す教育、とりわけ科学コミュニケーションを主たる活動領域にする放射線教育においては、意思疎通の双方向性が重要である。発信されたものは受信されなければならない。比較判断されて行動の変容を促すものでなければならない。一方通行の発信では、充分に責務を果たしたことにならないのである。オピニオンリーダーとして知識理解・普及の伝達方法が改善されなければならない。しかも、このことは放射線教育だけに限定された問題ではなく、私たちを囲繞し判断を迫っている問題群すべてにあてはまる。ひとつ原子力エネルギーの利用や放射性廃棄物のバックエンド問題だけではない。遺伝子組み換え技術、生命倫理、地球環境、人口・食料・水資源、治安、貧困、人権の問題等まさに現代社会の抱える課題群である。提起された問題群とその状況を事実として判断（科学的合理性を根拠に）し、それをもとに私個人が価値判断（社会的合意を目指す合理判断）を下さなければならないのだ。社会的合理性に立った判断や行動を促す教育は充分なされているとはいえない。

5．理科教育と社会教育の現状

「理科離れ」、学力の低下、ゆとり教育批判と学校教育を巡る話題は、それこそ連日のように報道され、文部科学省も見直しに入っている。ここであらためて詳述することは避ける。（筆者の立場は、学力のとらえ方、総合学習の扱い方などの点で、必ずしも単純なゆとり教育批判者の側ではない。次の節で総合学習に替わる教科目を提案する。）

ところで科学技術、なかでも放射線教育を学校教育で扱うとすればそれは理科によると考えられるだろう。しかし学校週 5 日制における授業時間の物理的制約（これをもとの週6日制に戻すことは社会の情勢としてもできない。また学力低下は、単にドリル学習の不足だけではなく、社会規範を受け入れる意識変化の側面も大きいので一筋縄ではいかない。『学習意欲の低下』という簡単な符牒で括られてしまっているため、問題の解決を一層困難にしている。この点については、別の機会に議論する。しかも識者の大方の予想を裏切るかのように、児童・生徒は学習塾通いをすることで学習時間はけっして少なくない[(5)]のである）だけでなく、年々追加すべき学習内容は増え続けているわけだから、放射線関連の学習内容の増補を望むことはできない。しかも『科学』は、必ずしも素朴な価値中立的なものではないのだが、とりわけ理科という自然科学を扱う領域に、科学技術（あるいは環境やエネルギー問題に代表される諸問題）に対する考え方、判断・行動の選択のしかたのような価値判断の方法を学習内容として追加することは、理科という教科の特性がリベラルアーツとして歴史的に捉えられてきたことからも、学習内容として整合性を留保するには無理がある。放射線に関する内容に限って言えば、学習指導要領に示された内容や扱い方（時間）、あるいは教科書記述に関する限り、現状としては妥当なものと考えることができる。

教育は学校教育に限定されるべきものではないし、博物館活動、各種セミナー、生涯学習講座など社会教育という方法もある。教育施設、機会ともに大変充実してきた。従って、これら活動の協同として教育活動を考えてもよいと思われる。ところが遺憾ながら、こと科学技術に関する限り、その内容が期待を満たしているとはとても思えない状況である。たとえば、隣接地域に清掃工場ができる、葬祭ホールが進出してくるとなれば住民（市民）は熱くなるし、また親になり子育てを始めてみれば、食や住居の安全性についてもうるさくなるものである。私たちの学習意欲は年齢や状況によって変化するだろう。しかし関心を引く状況はしばしば訪れるわけではなく、周囲の教育施設を見渡せば、インパクトのある豪華な企画をしかけることで興味を喚起しているところが多いのではなかろうか。それはなぜだろうか？答えは簡単である。つくりごとはつまらないからである。知的好奇心なしで学習させるには、必要性という強いインセンティブを働かせる必要がある。また、知的好奇心がはたらく対象も個人によって違い簡単なことではないのであるが、少なくとも従来型の展示（発信）だけで、参加者がコミュニケーションを体験できない形式であってはならない。博物館で地ビールづくりを通してアルコール発酵を学びにくる大人は余程の希少種であろう。原子力 PR 館に足を伸ばしても、「予め与えられた結論」を確認させられ

るだけで、取り立てて新しい発見は期待できない。

対立する考えや仮説を通して意見のやり取りをし、自分の考えを深める科学のプロセスはなぜか省略されている。満たされないまま説明や施設を一巡しただけでは発展は望めない。学びたいと言う気持ちを喚起し、多様なニーズに応える基礎学習の必要性はそこにある。

6．総合的な学習の時間を教科科目とすること

放射線教育を含む、科学技術、環境やエネルギー問題に対する判断（価値判断）や受容に関する、社会的合意の形成を目指す教育（社会的合理性を判断するための教育）は、科学的合理性を獲得する教育とは独立して指導されなければならないと考える。

今次学習指導要領の目玉として総合的な学習の時間が新設され、小・中・高校それぞれの区分で、その発達段階に応じて指導されることとなった。インターネットの HP や各種調査を検索してみると、特に小・中学校の義務教育段階での取り組みにおいて、環境調査、エネルギー利用の問題やその取り組み、生活・産業廃棄物の処理問題、地域の産業や行事など、活発な授業展開がなされている。「地域の特性に配慮し、児童・生徒自らが課題を見出し、主体的に問題解決に取り組めるよう・・」という学習指導要領の趣旨と、学校独自の取り組みが遺憾なく発揮されているように思われる。学習の概念を変え、生徒の学習意欲・探究活動を、瞥見しただけで短絡的に「遊び」や「結局教師の敷いたレールの上を生徒が歩むだけの学習だ」は正当性を欠く批判である。体験を通して学ぶ教育は必要なのだ。さらに付け加えれば、総合学習の時間に改善を加えれば次のようになる。

1．小中高の段階、総計 100 単位以上、350 時間を学習するわけではあるが、児童・生徒の主体的問題解決を望む規定だけしかない。学習内容を規定することにより、テーマの系統的・発展的なつながりを取る。
2．ことに少子化を受けて（義務教育段階では徒歩あるいは自転車通学を基本とする）通学区が狭いため、小規模校が普通である。従って、活動を充実させたくとも教員が充分ではないので教員数を増やす。（その道の達人の出前授業で解決できる問題ではない）
3．社会生活を円滑に進めること、次世代の社会の形成者を育成することが普通義務教育の使命であるなら、科学的合理性のほかに、社会的合理性を獲得する教育を施す。
4．総合学習の時間新設の目標は、教科の枠にとらわれず、児童・生徒の主体的活動によって問題解決に至る探求的活動を体験させること、地域の特性を生かした活動を展開することにあるが、指導計画を策定する教員の側の経験・技量に依存する。地域性や主体的探究活動、それに付随する協調性や共同作業は、社会生活を営む上での技術や我々が直面する環境やエネルギー問題などの、まさに持続可能な発展のための課題の解決を考えさせる、考え方を身につけていくことで、系統的に（トピックでなく）学習を積み上げていくことができる。学習指導要領で学習内容を示す、継続性を明らか

にする、教科として取り扱うことで恣意性やイデオロギーを排除し、方向性や内容の充実が図れるものと考える。また、単なる発表のしかたを目標とした課題学習でもなくなる。そこに放射線教育の新たな展開、充実が生まれ、学校教育活動への我々フォーラム会員の支援活動が組織的、計画的に組み込まれるはずである。

以上を踏まえて、理科教科書や現代社会の教科書の最終章に取り上げられている『科学技術と人間生活』や社会生活にまつわる課題についての考え方、問題解決の方法を、発達段階に応じて系統的に学べる社会技術の教科の新設を『総合学習の時間』に替わって提起したい。価値対立的な問題について及び腰、あるいは回避できる時代ではない。

参考文献

(1)黒杭　清治　『放射線教育フォーラム年次報告 2004』83-87　(2004)

(2)原子力文化振興財団　『原子力文化振興財団 2001』

(3)石　弘之編『環境学の技法』　佐藤仁 2002；「『問題』を切り取る視点：環境問題とフレーミングの政治学」東京大学出版会、41-75

(4)電力中央研究所　　『(市民のリスク意識) 電力中央研究所 2002』

(5)『中・高校生の学習時間調査 2002』第 3 回学習基本調査　ベネッセコーポレーション教育総合研究所

また、一般市民のリスク評価については、電力中央研究所の土屋智子氏の放射線教育フォーラム第 2 回勉強会（2004 年 11 月）報告や資料、放射線教育の現在をまとめたものについては松浦辰男氏の「根拠のない不安を取り除く」（Energy Review　2004 年 12 月号に詳しい報告がある。

「放射線教育」Radiation Education
Vol. 8 No. 1, p. 31 - 38 (2004)

原子力の安全と安心を結ぶ理解活動を考える

笹川澄子
（財）環境科学技術研究所
〒039-3212 青森県上北郡六ヶ所村尾駮・家ノ前 1-7
(2005 年 3 月 11 日　受理)

［要約］商業用核燃料サイクル施設をはじめ様々な原子力施設が立地する青森県下北半島で，それらを巡って報道された新聞記事や所属する研究所の普及活動「出前講演会」を通じて得た経験や情報等に基づき，原子力の安全と両輪をなす安心を文化として醸成することが原子力理解活動の重要課題の一つであり，その方法論の調査研究が緊急に求められる。また、原子力施設立地地元に立つ研究所に期待される役割を考察した。

1. はじめに

青森県の下北半島は，上北郡六ヶ所村のわが国初の商業用核燃料サイクル施設（*1）をはじめ様々な原子力施設（*2）が建設され、この数十年の間に驚くほど原子力半島化した。とりわけ，六ヶ所村で進められている商業用核燃料サイクル施設は，2004 年上期に湧き上がった国の核燃料サイクル政策に対する見直し論によって注目された。原子力委員会の原子力開発利用長期計画の改定と従来の政策支持見解が出された後，焦点の再処理工場は 2004 年末に地元との安全協定を締結しウラン試験に入った。これと歩調を合わせるかのように，隣接する下北郡東通村には 1964 年に計画案が示されて以来約 40 年を経過して青森県初の核燃料使用者である原子力発電所（東北電力東通原子力発電所 1 号機）が完成し，平成 17 年 10 月営業発電を目指して平成 16 年 12 月末に試運転に入った。これらの事柄を巡って，新聞に代表されるマスメディアは，地元紙も全国紙もこぞって原子力の工学的技術的安全性，原子力政策，経済問題，地球環境問題，反核燃団体の行動等々に至るあらゆる分野に関連する出来事や論評を報じてきている[1),2),3)]。

（*1）六ヶ所村の商業用核燃料サイクル施設
ウラン濃縮工場　1992 年操業；低レベル放射性廃棄物埋設センター　1992 年操業；高レベル放射性廃棄物貯蔵管理センター　1995 年操業；再処理工場　2006 年操業予定；MOX（ウラン・プルトニム混合酸化物 mixed oxide）燃料加工工場；計画中

（*2）下北半島の原子力施設
下北郡大間町：原子力発電所（日本電源開発株式会社，2006 年着工予定）
下北郡東通村：原子力発電所（東北電力 1 号機　2005 年操業予定，2 号機　2010 年以降着工予定，東京電力 1 号機　2006 年着工予定，2 号機　2008 年着工予定）
むつ市：使用済み核燃料中間貯蔵施設（東京電力、計画中）

一方，著者が所属する研究所は，六ヶ所村における核燃料サイクル施設建設を契機と

して，平成 2 年 12 月に「原子力と環境のかかわり」を主要課題に地元六ヶ所村に設立された。そして，広報普及活動の必要性と重要性に鑑み，平成 13 年 4 月に広報・研究情報室が装いを新たに発足した[4]。新しい室は従来の事業を引き継ぐとともに，新規事業も展開している。

本稿では，著者が平成 3 年に放射線影響研究所（広島）から赴任して以来携わった調査研究等々の事業のうち，特に普及活動事業（出前講演会）を通じて経験した事をデータとして示し，次いで，全国紙および地元紙に報じられた原子力関連記事等々から浮かび上がる問題を示し，原子力半島化した地元に立つ研究所として期待される役割を考察した。

2. 普及活動事業（出前講演会）

2.1 出前講演会の趣旨および制度

広報・研究情報室の新規事業のうち最も積極的に進められているものの一つに「住民・専門家対話集会（通称　出前講演会）」をあげることができる[4]。広告やチラシ等では「皆様のお近くへ専門家を派遣し，出前講演会をいたします」としている。事業の趣旨は，科学，環境，エネルギー，原子力等にかかわる事柄に対して一般の人々の「知りたい」という要望に応え理解が深まるよう務めること，そして科学の知識や最新の知見を提供し一緒に問題を考えていこうとするものである。そのため，臨機応変にきめ細かく対応できるように工夫をこらしてきている。また，講演料や交通費等の費用は受けないこととし，日時，場所，対象者（3 名様以上）にも可能な限り制限を取り払った。依頼を受け派遣する専門家は，研究所が有する人材を生かすべく，研究所の主として研究員を当て研究所全体として本事業に臨む態勢をとっている[5),6)]。対象テーマは，回数を重ねるにともない変更し，特に希望が多かった実体験（実験，実習等々）もできるように理科実験や展示（実演・説明付）も加えている。対象テーマは以下の通りである。

1. 科学：くらしと科学，科学の歴史，理科実験，その他
2. 環境：環境とは何か，環境問題，環境ホルモン，その他
3. エネルギー：地球にはどんなエネルギー源があるか，その他
4. 原子力：原子力と環境のかかわり，使用済み核燃料の再処理・地層処分とは，その他
5. 放射線（能）：放射線とは何か，放射能とは何か，放射線の人体影響，くらしの中の放射線，医療で利用されている放射線，産業で利用されている放射線，その他
6. 展示：放射線観察装置（スパークチェンバー，霧箱），放射線測定器の展示・実演，その他
7. 当研究所の紹介：放射線の生物影響，放射性物質の環境中での動き，ミニ地球
8. その他：食べ物・健康など日常生活にかかわる身近な話題

2.2 出前講演会の実績

2.2.1 件数および場所（図 1，図 2）

初年度（平成 13 年度）[5)]は 8 月末からの活動開始となったことや広く周知する手段を特にもたないという不利もあったが，14 件の申し込みがあった。対象区域が六ヶ所村周辺とされたが口コミで県外からの申し込みもあった。平成 14 年度（対象区域　県内）[6)]

は 29 件あった。周知手段を欠くという不利は相変わらず存在し，知人等を通じての宣伝という個人の努力に負う面が大きかったが，一部経験者などによるロコミ効果も現れ始めた。平成 15 年度（対象区域　北東北 3 県）は 30 件あり，地元六ヶ所村の学校から理科授業の一環としての依頼も増え始めた。また研究所を訪れ施設見学と併せて勉強したいという依頼も生じた。平成 16 年度（対象区域　全国）は 32 件（平成 16 年 12 月末現在の受付数）となった。本事業は急に大成長するというものではないようであるが，年度を追う毎に対象地区を広げ申込件数も少しずつ増えて，担当者としては地味であるが着実に成長させたいと願っている。

2.2.2　講演テーマ（図 3）

平成 13 年度から平成 16 年度（平成 16 年 12 月末現在）に依頼されたテーマは，当初は申込用紙に記載されているテーマの中から一つが選ばれていたが，回数を重ねるにつれて複数テーマに及ぶようになった。そのことを考慮し，テーマの分類と計数は複数回答可の例にならって行った。そのため，テーマの合計と出前講演会回数とは一致しない。

講演テーマ（「」内はテーマ名）の変遷を見ると，1)「実験・実習」が年度を追う毎に増加している，2)「科学」が増えつつある，3)「原子力」が増えつつある，4)「環境研」が増えつつある，ことがわかった。これらは，地元の小中学校で理科授業に環境研の応援を頼みたいという喜ばしい状況があることや実体験は講演の理解を一層促進すること，当初は難しいとして敬遠されがちな原子力への理解や科学に対する興味が増えてきていること，また，地元新聞に報道される機会が増えてきた環境研に関心がもたれるようになったこと，等々を反映していると考えられた。

著者が担当した出前講演会で印象に残り気づいた事柄を記述する。

ある女性グループに対する出前講演会（テーマ：研究所の紹介および薬草のお話）で，話し合い中に自然に発せられた「原子力反対派の講演会で話を聞いたことがあるが，彼らの話を聞いても原子力をどのように理解すればいいのか，どのように判断すればいいのかとにかく難しくて分からなかった」という言葉である。発言者は彼女の抱いた疑問質問を誰に尋ねればいいのか困っていたということであった。

別の所では，環境という言葉が声高に叫ばれるが，原子力は言うに及ばず環境のことすら分かっていないので，自分たちが分かる身近な山野草のことから始めて，「原子力と環境のかかわり」を理解していきたいとして繰り返しの申し込みがあった。

また，エネルギーを考えるというテーマをいただいた出前講演会では，「原子力の必要はわかるが，必要悪である。・・・・」という意見が寄せられた。

さらに，余録で示した「変態クローバー」（著者編）に対して，「それは六ヶ所のものか？」などという言葉が寄せられたこともある。

上記の事柄は，出前講演会が人目をはばかることなく，また本音で議論できる場となったことを示すものであり，一般の人々の視点として貴重な情報であると考えられる。真剣に受け止め，機会があればマン・ツー・マン的に思っていることを丁寧に聞き出したり不安に感じていること等に優しくカウンセリングしたり，科学的なデータを示して説明したり議論することが必要かも知れない。最近，医療相談や法律相談等での個別カウンセリングがしばしば見受けられる。そのような制度が原子力にも必要で，広報普及活動の受け

持ちではないかと期待される。

3. 新聞報道にみる原子力が示すこと

著者は研究所で入手できる新聞を対象に原子力関連の記事を調査してきた[1),2),3)]。最近注目すべきは，わが国の核燃料サイクル政策「見直し論」が叫ばれてきた頃から原子力委員会による原子力長期計画改定作業と国策維持決定，さらにはそれを受けての事業者と地元自治体との安全協定締結，再処理始動に至る時期にかけて報道された新聞記事である。地元紙も全国紙もこぞってスポットライトをあて，単発報道もシリーズ報道も解説報道も多かった。その中で著者がとりわけ興味をそそられたのは，原子力の経済性や地元経済状況との関連よりも，「風評被害」(含地元漁業者の漁業補償交渉)についての記事であった。主なものを以下に列挙する（上行：新聞名、発行年月日　頁（欄名)、下行：見出し)。

○1　朝日新聞　2004年5月13日　31頁（青森）
　　核燃マネー　第3部　産業への波及（2）　農業　「共存の道」険しく
○2　朝日新聞　2004年5月14日　27頁（青森）
　　核燃マネー　第3部　産業への波及（3）　漁業　やまぬ「補償依存」
○3　朝日新聞　2004年9月30日　27頁（青森）
　　動くか　核燃サイクル（2）　――風評被害は心配ですか。　不安感存在、再検証を
○4　朝日新聞　2004年10月26日　27頁（青森）
　　核燃マネー　第5部　欧州事情（1）　海はだれのもの　「漁業権」概念なし
○5　デーリー東北　2004年11月24日　2頁
　　ウラン試験開始へ　六ヶ所再処理工場(6)　反核燃　「こんなんじゃなかった」　運動に一時の勢いなし
○6　毎日新聞　2004年11月26日　21頁（身近な話題　地域のニュース）
　　動き出す環（サイクル）　ウラン試験安全協定締結（下）　風評被害　ブランド崩れに不安
○7　東奥日報　2004年12月25日　3頁
　　40年目の始動　東通原発1号機試運転（6）　漁業補償　交渉10年　金額膨大に

上記記事を概観して，地元農漁業者の深刻な心配が遠隔の都市部消費地によってもたらされる風評被害であることがよく分かる。これまで認定された風評被害は，1999年の茨城県東海村のJCO臨界事故と2001年の福井県敦賀市の敦賀原発の放射能を帯びた蒸気漏れ事故の2件である（朝日新聞2004年9月30日27頁)。しかし，事故でなく再処理工場（六ヶ所村）が稼働しただけでも影響がありそうだと，直接の事故を伴わない風評被害も心配されている。実例として，1981年の日本原電敦賀発電所の放射性廃液流出がいわれている。これらのことは，科学技術としての原子力の安全よりも，社会経済学的なあるいは人文社会学的な視点からの原子力に対する安心がむしろ問題であることを示唆している。原子力を科学技術面からとらえるよりももっと難しく，金銭で解決される問題でもなく，時として個人の内面にまで踏み込むやっかいな課題でもあり得る。

風評被害は原子力に限ったことではなく，食べ物，水，医療，環境汚染，はては観光

業にも及ぶ。そしてそこに横たわるのは，かなり高度に発達した情報社会でありながら，基本知識や正しい情報の欠如であり，それに基づいて得られる安心の欠如である。ここに科学リテラシー[7),8)]やメディアリテラシー[2),3)]の醸成の重要性とそれを図ることが今日の必要かつ緊急な課題であることを感ずる。風評被害を引き起こす側としても及ぶ側としても国民として健康で文化的な生活ができず，さらには経済的打撃を受けることは幸福なこととはいえない。

4. 原子力施設立地村に立つ研究所に期待される役割を考える

4.1 原子力の安全と安心

工学的技術的安全はどちらかというと監督者の国や事業者などその分野の専門家が担うものであると考えられる。そして経済効果を間に挟んで対極に位置するのが安心だと考えられる。この安心は，工学的技術的なものでは決してなく，むしろ人文社会科学分野が扱う対象物であると考えられる。上記の風評被害に示されるように，安心の欠如が風評被害をもたらすのである。安心は安全とあたかも両輪をなして存在する課題である。しかも個人の内面にまで踏み込むやっかいな課題でもあり得，そのため叫ばれている割には置き去りにされてきた感が否めない。

4.2 置き去りにされている「安心」が課題

原子力をめぐる様々な記事の中で，紙面を占める面積こそ大きくないがとりわけ地元農漁業者に恐れられているのが風評被害であるといえる。第一義的被害者の農漁業者は第一次産業従事者で，そこでは従事者が全労働人口の 5%（平成 12 年国勢調査）でしかも高齢者が占める割合が高い少数派産業である。弱者ともいえる第一次産業従事者からの悲鳴や恐れが風評被害である。彼らの心配は，遠隔の都市部消費者が原子力をどう受け止めているか，そして風評被害がどこへどのように及んでいるのかに理解がないことである。例えば，「再処理工場が稼働したら，お米はもう買わない，などと青森県南地方で無農薬無化学作物の栽培に取り組む農業者は 5 年間取引を重ねた首都圏の消費者からいわれた」（朝日 2004 年 5 月 13 日 31 頁）が示すように，事故だけではないのである。

風評被害は言葉としては新しいといわれるが，食べ物から観光にも及び人文社会科学的要素を多くもつため調査研究はかなり行われている。原子力にかかわる風評被害についても，その特徴を浮き彫りにし，発生を未然に防ぐ具体的な方策等々を緊急に模索しなければならない課題だと考える。対象は，施設が立地する地域の農漁業の生産者と都市部に居住する一般消費者，風評を作り出す側，風評被害を発生させる側，そして風評被害が及ぶ側にまで至る。原子力の安心は風評被害抜きには語れない。既に 1954 年に第五福竜丸事件で焼津の魚やマグロが大被害を受けたことが知られているにもかかわらず，正面からの踏み込み程度がまだ少ない取り残された重要な課題であると強く感じられた。

国民として健康で文化的な生活を得ようとする時，生産者も消費者も個人個人が，他人任せ行政任せでなく，物事あるいは社会事象に対して問題意識を持って観察したり考えたり，そして自分たちに関わる問題として勉強し冷静に判断することの必要性を痛感した。原子力においても食べ物，水，医療，環境汚染と変わることなく，関連する科学リテラシー[7),8)]やメディアリテラシー[2,3)]の重要性にも言及されなければならない。

4.3 原子力施設立地村に立つ研究所に期待される役割を考える

著者は，青森県六ヶ所村の研究室での経験や地元の方々との接触を通して，科学技術としての原子力そのものよりも，社会経済学的な原子力，さらには人文社会学的な原子力がむしろ問題であるように思えてきた。この視点からの広報活動は，時として個人の内面にまで踏み込む可能性もあり得る。科学リテラシーの醸成に対する寄与はもちろんのこと，人々に納得してもらえる合意形成に寄与することに前述の「出前講演会」にもそれなりの役割が期待されようし，結果としてわが国の原子力エネルギー事業が円滑に進むことにもなろう。

安心とは工学的技術的安全，その安全が崩れたときのリスク，そしてリスク低減対策に裏打ちされる部分を多くもつものであると考える。その安心はどうやったら生産者にも消費者にももたらすことが出来るか。安心文化の形成と醸成が課題である。

謝辞

「出前講演会」に専門家として快くご協力いただいた研究所の役員各位および研究員各位に心より感謝いたします。

参考文献

1) 笹川澄子，新聞報道にみる原子力：予備的調査，放射線教育，5，27-34（2001）
2) 笹川澄子，新聞報道にみる原子力：2002 年 1～12 月予備調査，放射線教育，6，15-20（2002）
3) 笹川澄子，新聞報道にみる原子力：2001 年 4 月～2003 年 12 月，放射線教育，7，59-68（2003）
4) 環境研ニュース第 36 号 2002 年 2 月，短信「出前講演会」ご紹介 8 頁
5) 平成 13 年度環境科学技術研究所年報，第Ⅳ部広報普及活動第 2 章普及活動 3.出前講演会，95 頁
6) 平成 14 年度環境科学技術研究所年報，第Ⅳ部広報普及活動第 2 章普及活動 3.出前講演会，99 頁
7) 笹川澄子，ノーベル賞物語：やさしい科学リテラシーをめざして，日本女性科学者の会学術年報，1，56-60（2002）
8) Sasagawa S, Science literacy in local communities, The Third International Symposium on Radiation Education, Nagasaki, August 22-26, 2004

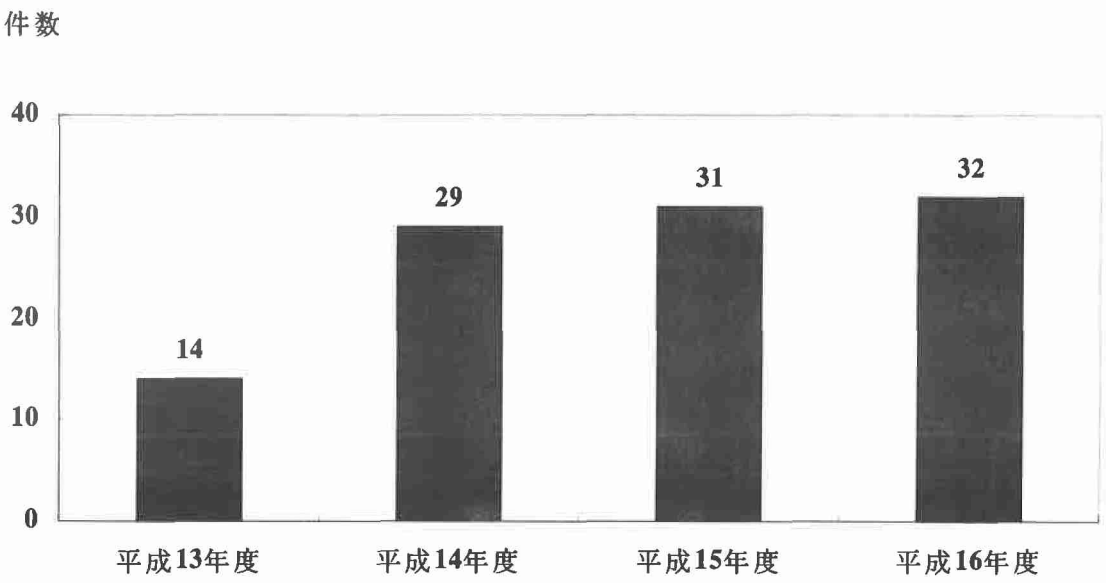


図 1　平成 13～16 年度の出前講演会件数

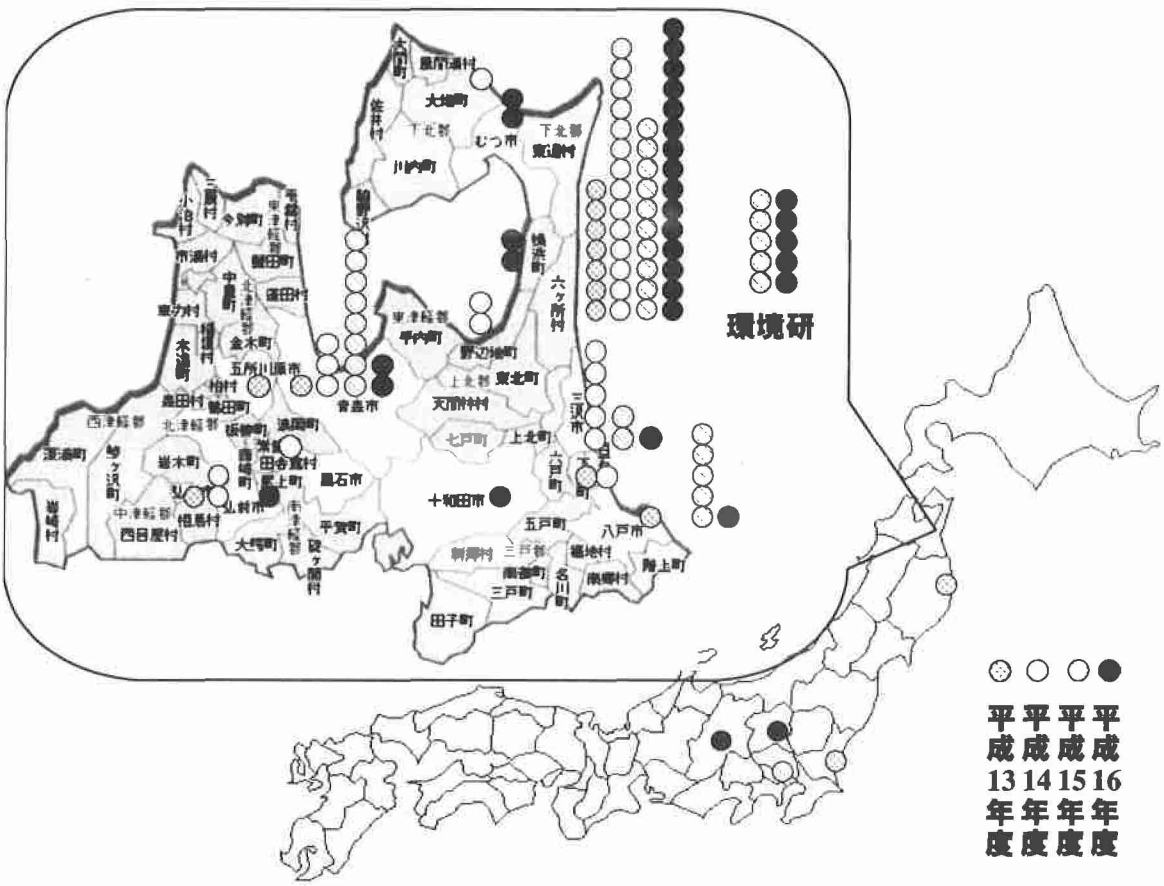


図 2　平成 13～16 年度の出前講演会実施場所．それぞれの○は 1 件を示す．

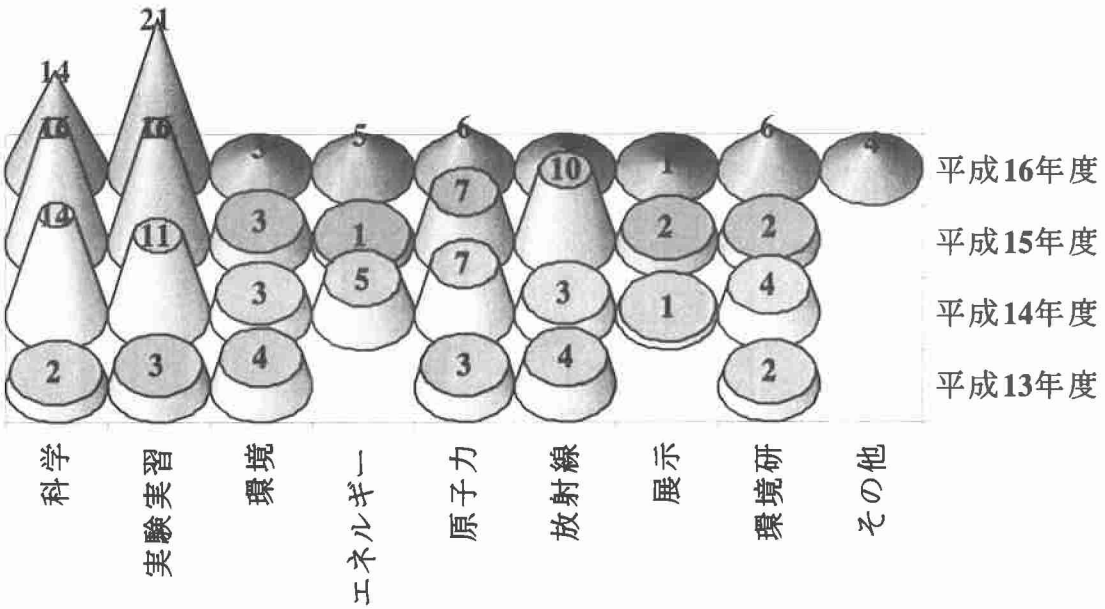


図 3　平成 13～16 年度の出前講演会の講演テーマ数

「放射線教育」Radiation Education
Vol. 8 No. 1, p. 39 - 48 (2004)

北投石 —温泉で生成する放射性鉱物—

堀内 公子
大妻女子大学社会情報学部
(〒206-8540 多摩市唐木田 2-7-1)

(2005年3月12日 受理)

[要 約] 北投石は台湾の北投温泉と秋田県の玉川、川原毛温泉にのみ産出する含鉛重晶石である。1906年に北投温泉で発見された事にちなんで命名され、現在わが国では特別天然記念物に指定されている温泉生成鉱物である。玉川温泉産北投石に関する研究を中心に生成機構および含有成分等の分析結果をまとめた。

1. はじめに

北投石は温泉で生成され、強い放射能を有するユニークな鉱物である。放射能発見以来自然界にある放射性物質はあらゆる分野で調査された。そうした風潮の中で温泉の中で発見され正式な鉱物として認められ、今年百年目を迎える。発見以来研究者達の興味の対象となり多くの研究が行われて来た。

2. 発見の歴史[1)]

北投石は1906年（明治39）岡本要八郎により、当時台湾総督府下にあった台湾北投温泉の河床で発見された、硫酸鉛及び硫酸バリウムを主成分とする重い結晶質の鉱物である。これら両成分を共有する鉱物は未だ世界で発見されていなかったこと、またこの鉱物が放射能を有すること（写真乾板を黒化）から極めて珍しい鉱物と考えられた。一方わが国では1898年に、羽後焼山火山の西南側にある仙北郡田沢村渋黒温泉（現在の玉川温泉）で桜井広三郎により渋黒石が発見され、東京大学地質学教室に所蔵されていた。発見当時の化学分析は仙北鉱山監督所で行われたが鉛の定量値はなかった。1911年神保小虎は8月に北投温泉を、9月に渋黒温泉を視察し、台湾の北投石と渋黒石が同一のものであることを確かめた。1912年神保小虎はこの鉱物を携えて欧米各地を廻り、モスクワでラジウム調査委員ベルナドスキー（Vernadsky）教授を始めその他の関係諸学者と協議の上、発見地北投温泉にちなんで北投石（hokutolito）と正式に命名し、以後学術的に北投石の名が用いられる事となった[2)3)]。

また、北投石は、欧米での発見例はなく、1922年（大正11）わが国初の天然記念物に指定され、第二次世界大戦後文化財保護法の制定により1952年（昭和27）特別天然記念物に指定された。

台湾の北投石は北投温泉の湧出経路の変遷と共に一時所在不明となっていたが1983年（昭和58）台湾水道局の賴騰鏞と日本の水道関係者大塚慶之により再発見され今日に至っている。北投石は玉川温泉に於いては、現在もその生成が確認されているが、北投温泉では確認されていない。

3. 放射性鉱物北投石

北投石（含鉛重晶石）は重晶石と硫酸鉛鉱の固溶体（化学組成（Ba, Pb）SO_4で表される）に与

えられた変種名で重晶石族に分類される。現に温泉で生成されている鉱物として、また強い放射能を有する事でも有名である。組成はPb:Ba＝1:4程度のものもあるが, Pbが少なく極めて$BaSO_4$に近いものが多い。温泉沈殿物として温泉が流れ出す川底や飛沫のかかる滝壷のふちなどに生成し、皮殻状赤褐色ないし茶褐色の縞状をなして産出するものと菱形板状の透明または半透明の結晶として産出するものが多い[4]。

北投石が温泉沈殿物として発見されたため、水溶液と鉱物との間の元素の分配という地球化学的興味の対象となり、Pbを含む重晶石ということから分析化学的にも、また温泉で作られる鉱物として鉱物学的・温泉化学的にも多くの研究がなされてきた。また、放射能を持つという点で放射性鉱物の出発点としての意義もあった。

北投石は現在までのところ台湾の北投温泉とわが国の玉川、川原毛温泉においてのみ確認されているが、戦後台湾の分離、独立により玉川温泉産の北投石が研究の中心となり、1950年代に玉川温泉の総合的な研究報告[5]が出されている。また、1953年からは玉川温泉湯川の湯華滝（湯華採取樋の末端）の裏側に安山岩や花崗岩等の母岩置いて生成実験が開始された[6]。

4. 北投石の成因[7]

北投石の生成には次の二つの特徴がある。

① 北投石は温泉の下流の温度がほぼ一定範囲内の地点の水表に近い岩面上に最も多く生成する。

② 通常北投石は主として褐色層より成り、これに薄い乳白色層が混じって累帯層構造をなしている。

また、北投石が、北投温泉、玉川温泉、川原毛温泉等に産出するにはそれなりの理由がなければならない。これらの温泉に共通していることは水温が100℃近い高温にしてpH　1～2の強酸性の温泉で、硫酸イオンが1000～1500mg/ｌ、塩化物イオンが2000～3000mg/ｌ程度含まれているということである。表1に北投温泉と玉川温泉の温泉水の化学組成の一例を示した[1]。

表1　北投温泉、玉川温泉、川原毛温泉化学組成（mg/l）

	北投温泉（1989）	玉川温泉（1965）	川原毛温泉（参考値）*
水温℃	99.5	98.0	93.6
pH	1.35	1.2	1.44
Na^+	632	110	64.5
K^+	301	21.5	39.1
Mg^{2+}	57.0	46.9	101
Ca^{2+}	198	168	121
ΣFe	73.5	85.5	60.4
Al^{3+}	99.9	99.1	94.6
Cl^-	2440	3174	1941
SO_4^{2-}	2090	1254	1141
Pb^{2+}	1.28	1.59	
Ba^{2+}	0.29	0.82	

*インターネット掲載値。Pb^{2+} 、Ba^{2+}の分析値はなく、あくまでも参考値である。

北投石の外観は大きく分けて褐色と白色の二つに分けられる。北投石は長い年月をかけて母岩の上に温泉水から直接に沈殿して成長していく。現在実際に見られる北投石の多くは台湾産で 1～2 ㎝厚、玉川産では 3～5㎜ 厚程度であり、川原毛産に関しては北投石研究の初期にその存在が報告されてはいるが、その後の研究報告は見られない。

初期の成分分析に用いられた玉川産北投石の写真とオートラジオグラフィーを行った実物大の図を下に示した（図 1-1、1-2)。オートラジオグラフィーの結果から北投石の厚みは約 5.5 ㎝あったと思われる。この試料は玉川温泉流域の川底の円礫面から採取されている[7]。

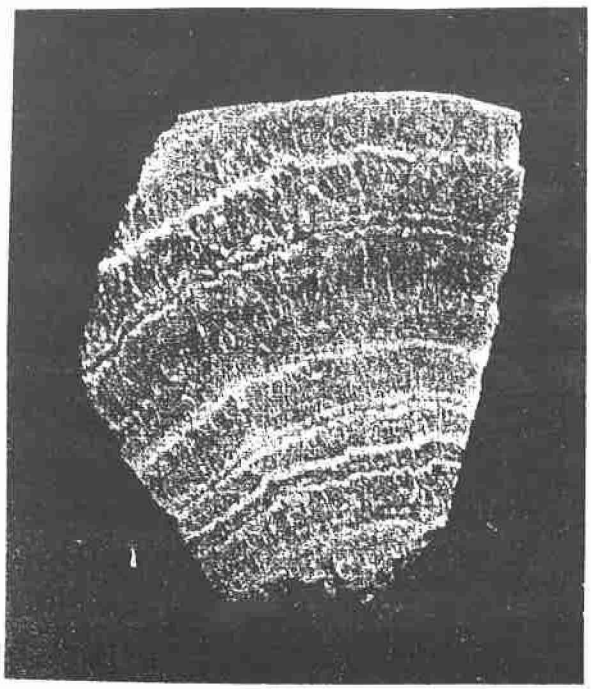


図 1-1　秋田第一北投石実物写真
（実物大）

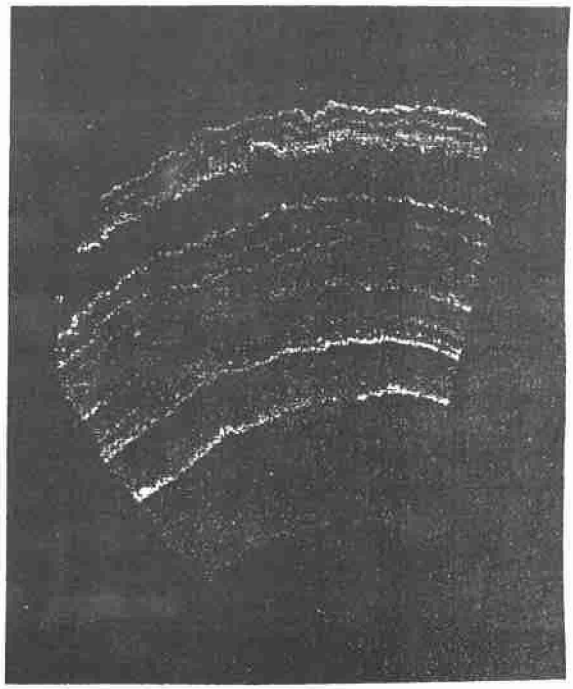


図 1-2　その放射線写真（実物大）

北投石の成長速度に関しても 0.06mm/ｙ～0.2mm/ｙ迄幾つかの報告がある[8-10]。最も速いものでも 0.2mm/ｙであるからこの試料は少なくとも数百年は経過しているものかもしれない。

台湾産北投石は玉川産北投石と同様の外観と着色を示しているが褐色層と白色層との明確な累帯構造を持つものは殆どない。川原毛産北投石は微赤色乃至無色斜方晶族で、累帯構造を持たない。色層による北投石の性質の違いを簡単にまとめると表 2 のようになる。

表 2　色による北投石の性質の違い [7)]

	褐　色　層	白　色　層
生成温度	低(～40℃)	高（70℃位）
pH	高	低
$PbSO_4$	多	少
$BaSO_4$	少	多
SiO_2	少	多
Fe	多	少
Sr	多	少
生成速度	速	遅
光沢	大	小
放射能	強	強

表 3　各地産北投石の含有成分分析結果 [5) 7)]

	1	2	3	4	5
	台湾産	玉川産 I		玉川産 II	川原毛産
		褐色層	白色層	全体	
SO_3	30.81%	32.19%	31.43%	31.45%	34.42%
PbO	21.96	9.72	6.45	15.17	3.07
BaO	32.04	53.88	55.44	48.14	58.85
SrO	0.93				0.14
CaO	0.51	0.32	0.34	0.04	0.86
Al_2O_3	0.88	0.47	0.52	0.37	0.43
Fe_2O_3	3.93	0.54	0.43	0.14	0.15
MgO	1.04	0.25	0.25	0.20	tr
Na_2O	0.53	-	-	-	-
K_2O	0.00	-	-	-	-
P_2O_3	0.01	-	-	-	-
As_2O_3	-	-	-	-	-
SiO_2	1.27	2.53	4.61	2.65	1.64
F	tr	-	-	-	-
H_2O	2.53	-	-	-	-
NH_4Cl	-	0.02	-	-	-
計	99.44%	99.92%	99.47%	98.16%	99.56%
比重	4.5～4.83	4.41		4.53	4.21
硬度	3.0～3.5	3.0			
分析者	飯盛里安	菅沼市蔵			

表 3 に初期の各地産北投石の分析結果の一例をまとめた。1 は最初に台湾で発見された北投石の分析値である。 玉川産北投石の褐色層は白色層より $PbSO_4$ が多く、$BaSO_4$ 及び SiO_2 が少ない。その後の多数の分析値の統計からも明らかなように褐色層は SiO_2 が少ないため。結晶に混濁がなく光沢が多い。また褐色の原因は Pb および Fe_2O_3 、FeS_2O_3 の存在によると考えられている。玉川産北投石 I は台湾産北投石に比べ $BaSO_4$ の成分が多量に含まれ、$PbSO_4$ の成分が著しく少ない。言い換えると、玉川産北投石 I は台湾産北投石と純重晶石：4 {$BaSO_4$} との中間の組成に相当する。

玉川産北投石は台湾産北投石に類似した光沢のある淡褐色・小結晶の集合体で、鉱石の厚みが増すと白色層との鮮明な累帯層が見られる。玉川産北投石 II は累帯層の分離が不可能なので全体を分析した値であるが、分析値から玉川産北投石 I と台湾産の中間に位置する。

川原毛産北投石は川原毛温泉でも類似の鉱物の存在が報告され、分析が行われた。成分中 Pb の量は台湾産の 1/7 程度で、比重の最も軽い北投石であることがわかった [7]。

台湾産北投石はゆるやかな流れの水表近くの母岩上で発見された。累帯構造を持つ玉川産北投石は主に源泉から離れて水温が下がった地点で生成するが、秋田地方は冬期は積雪のため流入水が減少し、源泉（大沸）から流れでる湯川の温度が高く、酸性度も大きくなる傾向がある。そうした条件が白色層を生成させるのではないかと考えられている。川原毛産北投石は比較的湧出口に近い温度の高い場所で採取したと記されている。このように北投石は採取場所によって水温、酸性度等析出条件が異なり、Pb, Ba をはじめ多くの含有成分に差が出て来る。

また北投石の生成は母岩とは直接関係はなく、主な母岩は北投温泉で角閃石安山岩、玉川温泉は輝石安山岩、川原毛温泉は流紋岩と一定していない [7]。

北投石の成因については温泉水中の藍藻類等の生物作用によるという説 [7] もあるが、北投石が多量の Pb や Sr を含むこと、湯華滝での北投石生成実験の結果なども考慮に入れて、現在北投石の生成機構は結局熱水からの化学的沈殿作用ということで落ち着いている [11]。

表 4　玉川産北投石中の放射性元素 [5]

放射性元素	玉川産北投石 I	玉川産北投石 II	分析年	分析者
U	痕跡	—	—	菅沼市蔵
Ra	1.22×10^{-7}%（白色層）	—	—	吉村　恂
〃	0.7×10^{-7}%（褐色層）	—	—	佐々木行美
〃	6.08×10^{-10}%	—	1950/10	斉藤信房
〃	—	(1～2) $\times 10^{-7}$%	1953/7	酒井均
RaD (^{210}Pb)	5.17×10^{-10}%	—	1950/10	斉藤信房
Po	痕跡	—		菅沼市蔵
〃	5.45×10^{-10}%	—	1950/10	斉藤信房
Th	痕跡	—	—	菅沼市蔵
〃	ThO_2　0.01%	ThO_2　0.057%	—	吉村　恂
RdTh (^{228}Th)	—	痕跡	1950/10	斉藤信房

5. 北投石中の放射性成分

初期の研究の中で北投石中の放射性成分も検出されている。^{226}Ra, RaD(^{210}Pb), Po, ThX(^{224}Ra), ^{228}Ra, RdTh(^{228}Th)等の核種の同定も行われている。放射性成分測定結果を表 4 に示した[5]。

U, Th は痕跡を検出したという報告がある。しかしその後の研究で U～^{226}Ra、Th～^{228}Ra の間は放射平衡が成り立っていないことが確認され、北投石の放射性成分は Ra がスタート物質で Ba と共沈する形で取り込まれると報告されている。高温・強酸性下で生成する北投石の中に可溶性の U が取り込まれ難い事は十分考えられることである。

5-1. γ線スペクトロメトリー

1970 年代になって Ge(Li)半導体検出器が普及し始めγ線スペクトロメトリーによる核種の同定が行われるようになった。北投石にγ線スペクトロメトリーを適用すると、非破壊で天然放射性核種 U-Ra 系列、Th 系列等のγ放出体の定量が可能になる。

表 5　崩壊系列とγ線エネルギーにより定量可能なγ放出核種[12]

U-Ra 系列	(^{234}U)	→	(^{234}Pa)	→	(^{230}Th)	→	^{226}Ra	⇒	^{214}Pb	→	^{214}Bi	→	^{210}Tl
半減期	24.1d		6.7h		80000y		1600y		26.8m		19.7m		1.32m
主要γ線エネルギー（keV）			946		142		186		352		609		795
放出率（%）			70		0.07		4		36		47		100
Th 系列	^{228}Ac	→	(^{228}Th)	→	(^{224}Ra)	⇒	^{212}Pb	→	^{212}Bi	→	^{208}Tl		
半減期	6.13h		1.91y		3.64d		10.64h		60.6m		3.10m		
主要γ線エネルギー（keV）	911		214		241		239		727		538		
放出率（%）	25		0.3		3.7		47		7		86		

⇒の部分には放射性希ガス：ラドン（^{222}Rn, ^{220}Rn：何れもα崩壊）が存在する.

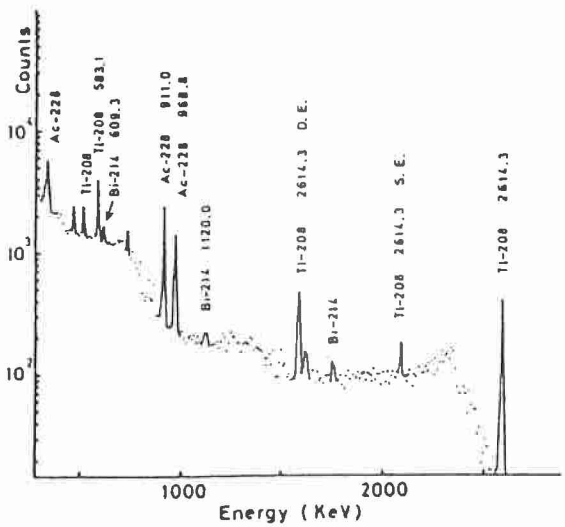


図 2-1　北投石のγ線スペクトル

試料：1973

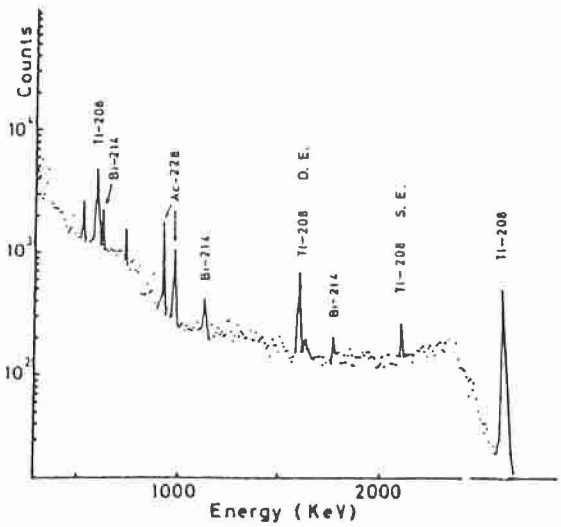


図 2-2　北投石のγ線スペクトル

試料：1960

表5にγ線スペクトロメトリーにより定量可能なU-Ra, Th系列のγ放出体を示した。そのうち( )してあるのはγ線は放出するがエネルギーが低いもの及びγ線の放出率が低いためγ線スペクトロメトリーによって定量が困難なものである。

Ge(Li)半導体検出器を用いて玉川産北投石の核種の同定が行われた[13]。その結果を図2-1、2-2と表6に示した。

その結果から生成年代の分かった新しい北投石ではトリウム系列の核種が顕著であり、ウラン系列のRa崩壊物のピークはそれより小さいことが解る。

表6　γ線スペクトロメトリーによる玉川産北投石中の放射性核種の同定

採取年	年齢	母岩	^{230}Th	^{226}Ra	^{232}Th	^{228}Ra	^{228}Th
1961*	不詳		5.7	8.4×10^{2}	6.7	3.2	8.1
1960**	7年	安山岩		6.8×10^{3}		2.8×10^{4}	3.6×10^{4}
1968**	15年	安山岩				5.4×10^{4}	6.3×10^{4}
1968**	15年	花崗岩				4.1×10^{4}	4.7×10^{4}
1973**	20年	花崗岩				9.6×10^{4}	6.9×10^{4}

*1961年に採取したが生成年代は不詳（古い）：単位　dpm/g

**1953年に安山岩または花崗岩を母岩として湯華滝にセットし生成させた北投石（新しい）：単位　dpm/g $BaSO_4$

台湾北投温泉では現在北投石は生成されていないので、源泉から流出している小川の川底の砂礫に付着している温泉沈殿物のγ線スペクトロメトリーをおこなった。定量結果は図3と表7に示した[14]。

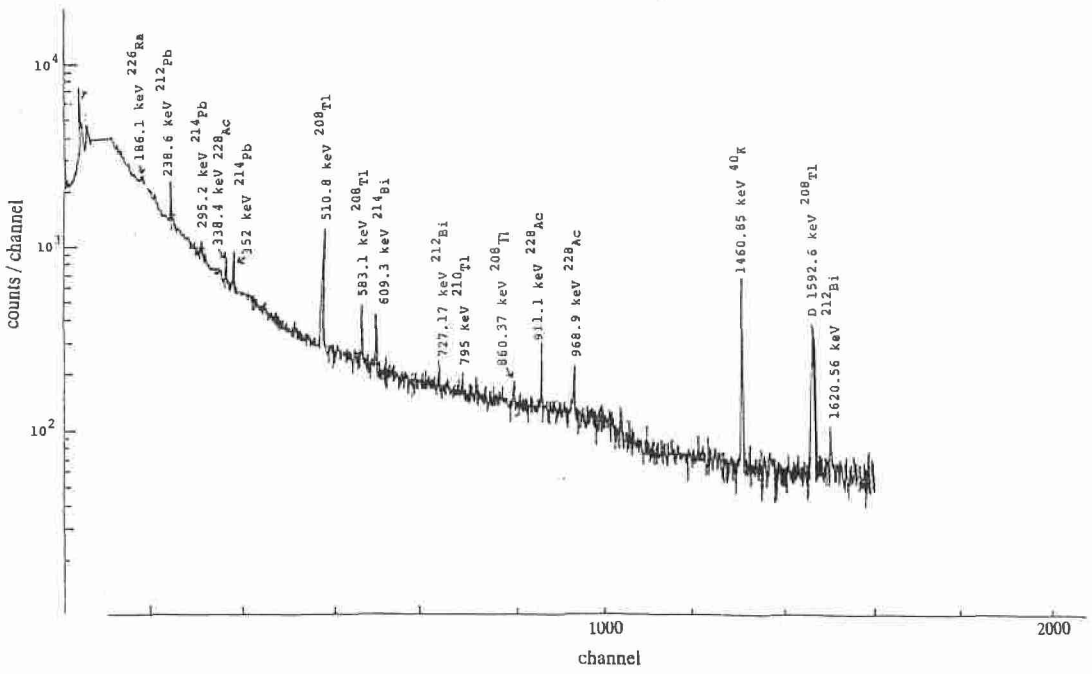


図3　北投温泉砂礫のγ線スペクトル

表 7　γ線スペクトロメトリーによる定量結果

試　料	U-Ra 系列	Th 系列	
砂礫 80.5 g	^{214}Pb	^{228}Ac	^{212}Pb
	3.40±0.39Bq	8.10±1.40Bq	5.06±0.61Bq

5-2 液体シンチレーション測定

積分計数法を用いたトルエン抽出-液体シンチレーションカウンター法により源泉から採取した北投温泉第一及び第三源泉の水中の放射性希ガス成分ラドン濃度を測定し、結果は表 8 に示した。液体シンチレーションカウンターによる測定は日本で行ったので、この結果は ^{222}Rn のみであり，半減期の短い ^{220}Rn は含まれて居ない [9]。

表 8　水試料中のラドン濃度（LSC 法による）

	採水日	pH	温度 (℃)	Rn 濃度 (Bq/l)
北投温泉第三源泉	1986/7/22	1.61	98.0	0.33±0.07
北投温泉第一源泉	1986/7/23	3.56	64.5	2.36±0.08

6. 北投石中の希土類元素

地殻を構成する岩石中の希土類元素を調べる事によってその岩石の生成年代や地球そのものが経てきた変遷等を知る事が出来る．故に希土類元素は地球化学の研究において最も重要な鍵を握っていると言われている [15]。

北投石中の希土類元素に関する報告もある。X 線分光法のスペクトル分析より定性的に Ce, La, Pr, Nd の存在が確認されている。　またスペクトル写真中に極微に Y, Er, Dy, Ho, Gd, Yb 等の諸線も見られたとも報告されている [7]。

化学分析を併用した放射化分析により玉川産北投石中の希土類元素の定量を行った [11]。北投石と同時に湯川川水中の希土類元素を定量したが、湯川川水中では 12 元素が定量された。北投石では Gd から Lu までの重希土類は Tb 以外定量されなかったが，軽い La,　Ce などは湯川の十倍以上濃縮されていた。また北投石中の軽希土類では通常の火成岩等と同じような濃縮傾向がみられた。 使用した北投石試料及び湯川の試料については表 9 に、玉川温泉の概念図及び試料採取地点は図 4 に、定量結果は表 10 に示した。

湯川で生成する北投石で Tb 以外の重希土類が定量出来なかったのは、分析した試料が高々数十年の生成年代（^{228}Ra : $T_{1/2}$ 6.7 y の含有が認められている [10]）のものであることなどから，北投石中に重希土類が濃縮されるにはより長い時間の経過が必要とされるのではないかと考察した [16].

表 9　使用した北投石及び湯川試料

試料番号	採取地点	採取年	生成期間
H－1	大沸	1958	
H－2	大沸	1968	15年
H－3	大沸	1971	
H－4	毒水トンネル	1975	23年
H－5	大沸	1979	
W－1	湯川川水	1983	
W－2	湯川川水	1983	

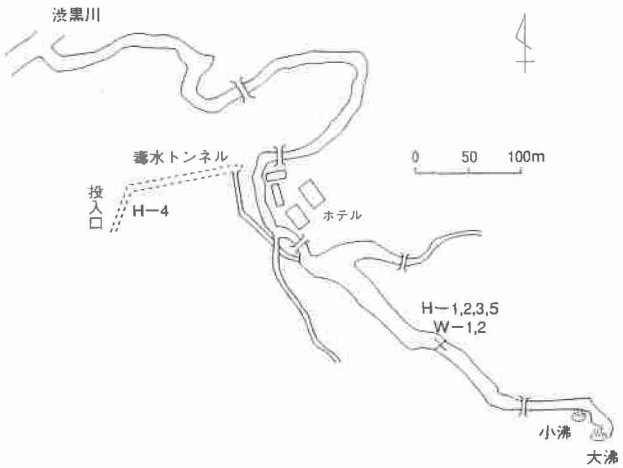


図 4　玉川温泉概念図（サンプリング地点）

表 10　放射化分析による北投石及び湯川中の希土類元素定量結果 (ppm)

元素	存在比 (%)	放射性核種	半減期 T1/2	γ線エネルギー keV(放出の割合)	H－1 1958	H－2 1968	H－3 1971	H－4 1975	H－5 1979	W－1 1983	W－2 1983
La	99.911	^{140}La	40.3 h	1596.4 (96 %)	164	547	926	69.8	263	13.6	11.7
Ce	88.48	^{141}Ce	32.5 d	145.4 (48 %)	410	556	645	127	320	25	36
Pr	100	^{142}Pr	19.2 h	1575.5 (3.7%)	−	60	78	−	24	−	6.8
Nd	17.18	^{147}Nd	11.0 d	531.4 (13 %)	75	99	146	47	47	23	28
Sm	26.63	^{153}Sm	46.8 h	103.2 (28 %)	1.9	3.5	4.1	0.9	1.4	4.6	5
Eu	47.77	^{152}Eu	13 y	121.8 (38 %)	0.14	0.35	0.58	0.06	0.2	1.8	1.6
Gd	24.9	^{109}Gd	18.6 h	363.6 (9 %)	−	−	−	−	−	−	−
Tb	100	^{160}Tb	72.1 d	879 (31 %)	3.6	1.7	1.4	−	1.9	1.7	2.3
Dy	28.18	^{165}Dy	2.35h	94.6 (4 %)	−	−	−	−	−	7	7.2
Ho	100	^{166}Ho	26.8 h	80.6 (5.4%)	−	−	−	−	−	0.9	2.5
Er	14.88	^{171}Er	7.52h	308.2 (63 %)	−	−	−	−	−	−	4.1
Tm	100	^{170}Tm	128.6 d	84.3 (3.3%)	−	−	−	−	−	−	−
Yb	31.84	^{175}Yb	4.19d	396 (6.0%)	−	−	−	−	−	−	3.4
Lu	2.6	^{177}Lu	6.71d	208.4 (6.1%)	−	−	−	−	−	0.28	0.36

7. おわりに

1986 年頼氏および大塚氏に案内して頂いて北投石再発見の現場へ行って調査をする機会を得た。それから 20 年いろいろな形で北投石との付き合いが続いている。筆者等が案内された再発見の場所は現在の北投温泉とはまったく別の場所で、現在は生活排水も流れ込むような小川の岸辺であった。話によると長い年月の間に北投温泉は源泉の位置を何度か変えて来ているとのことで、再発見につながった小川はかつての源泉からの湯の川だったのではないだろうか。北投石再発見も台湾の水道工事、道路工事の際に見出されたと言われている。従って、台湾の北投石は古い年代のものが多く、^{226}Ra しか検出されていない。

現在北投温泉で北投石が生成されなくなった要因の一つに　①現在の北投温泉の湧出場所周辺が砂礫層で湯の流れによって移動しやすい状態にあり、安定した母岩がない、　②源泉の性質が変化し、塩化物イオンが大幅に減少したこと、などが考えられている[9)]。

1906年に発見された北投石は、その発見100年を記念して今秋台湾で記念行事が行なわれるとのうわさもある。温泉で発見され、現在も成長を続けている貴重な鉱物「北投石」が、今後も平和に成長を続け、大切に保存されて行く事が望まれる。

8. 参考文献

1）綿抜邦彦（1990）北投石―その地球化学　地球化学，**24**　79-83

2）岡本要八郎　（1911）地質学雑誌、**18**　72-79

3）Okamoto,Y.　（1911）　J. Geol. Soc. Japan, **18**　19-26

4）椎川　誠，山口良二（1959）鉱物学雑誌　**4**　255

5）南　英一　（1955）　玉川温泉の総合研究　第4輯　1

6）南　英一　（1954）　鉱物学雑誌　**2**　1

7）菅沼市蔵　（1930）東京物理学校雑誌　**469**　58-93

8）Saito, N. , Sasaki, Y. ,and Sakai, H. (1963)　Geochemistry of the Tamagawa Hot Springs　p182

9）Takano, B. and Watanuki, K. (1972) Geochem. J.　**6**　1

10）堀内公子，中原　弘道，小阪　義浩，吉川　英樹（1988）^{228}Ra—^{226}Ra放射能測定による北投石の生長速度の研究　第25回理工学に於ける同位元素研究発表会，4a-II-1

11）佐々木信行、(1997) 天然記念物「北投石」100年の歩み　温泉科学　**47**　115-124

12）堀内公子　(2003) 放射化学的手法による北投石の研究大妻女子大学紀要：社会情報学研究、**12**　73-79

13）Okubo, T. and Sakanoue, M. (1975) Geochemical J. **9**　221-226

14）野口喜三雄，相川嘉正，村上悠紀雄（1980）台湾北投温泉から採取した砂礫の放射性沈殿物　温泉科学　**31**　1-7

15）小沼直樹　（1976）宇宙物質　新実験科学講座　**10**　宇宙地球化学　p167-182　丸善

16）堀内公子　(2004) 北投石中の希土類元素」の定量　大妻女子大学紀要：社会情報学研究、**13**　91-98

「放射線教育」Radiation Education
Vol. 8 No. 1, p. 49 - 58 (2004)

渡部　鼎について

坂内　忠明
放射線医学総合研究所　比較環境影響研究グループ
〒263-8555　千葉市稲毛区穴川4-9-1
(2005年3月12日　受理)

[要約]　野口英世の手を手術した渡辺鼎は、日本で最初にラジウム治療の専門院を創設した人でもある。専門院で行われていた治療法として注射法と照射法がある。注射法の評価はできないが、まだラジウム治療の黎明の時期であったにもかかわらず、小規模の病院で照射法を行っていたことは注目すべきであろう。

1.　はじめに

野口英世は、おそらく日本で一番、子ども達に伝記が読まれている人物であろう。

業績はともかく、幼少の頃、左手にやけどを負いながらも努力して学業を修め、更に努力して医者となり、アメリカに留学中、自分の研究が評価され、最後は黄熱病の研究に携わり、エクアドルやペルーを巡り、最後はガーナで黄熱病にかかり生涯を閉じる……。そのまま道徳の教科書になりそうな生涯である。

実際、「野口英世」は読書週間の読売新聞社世論調査[1]で、子供たちに読んでほしい本の三位に該当している。また、今年度からの千円札の肖像画にも選ばれ、朝日新聞の「この1000年『日本の科学者』読者人気投票」というアンケートでも1位で選ばれている[2]。

放射線に関する話題提供を目的として、野口英世に絡めて放射線の話ができないか調べてみたが、野口英世と放射線の接点はほとんどなかった。野口英世は放射線についての研究はしていないし、研究は細菌学が中心なので放射線を利用する可能性も低い。日本に最初に歯科学利用の文献を紹介したのは野口英世である[3]が、これは、血脇守之助の元にいた時、手伝いとして翻訳をしていただけなので、接点としては弱い。

しかし、野口英世とかかわりのある人物を調べてみたところ、放射線に関連がある人物として渡部鼎（わたなべかなえ、渡邊鼎、渡辺鼎と書く事もある）(1858～1932）という医者がいる。渡部鼎は、おそらく日本で一番その存在が知られるべき医者でいながら、名前が知られていない医者である。野口英世が医学を志すきっかけとなった出来事として、やけどを負った手を手術したことはよく知られているが、この手術を行った医者が、渡部鼎なのである。また渡部鼎は、日本で初期の頃にラジウムの専門治療院を東京に開業した人物であるが、あまり記録が残っていない。

そこで、渡部鼎の略歴を調べると共に、「ラジウム専門治療院で、どのような治療を行っていたのか」について調べた結果についてまとめた。

2.　経歴

渡部鼎の生涯についての文献は日清戦争までの詳細が「福島県医襍録」[4]に、それ以降については補足程度であるが会津史談会編「渡部鼎先生伝」[5]に記載されている。その他、「日本放射線医学史考」[6]等をもとに調査した。年譜を表1に示す。また、渡部鼎の生涯を述べるにあたり欠かせない特記事項は

補足として、文末に述べた。

2.1 生い立ちから日清戦争まで

「福島県医準録」[4]を元に簡単にまとめた。

渡部鼎は安政５年（1858）９月に、河沼郡野沢（今の福島県西会津町野沢）の漢学者で漢方医でもあった渡邊思斎の長男として生まれている。父親は私塾研幾堂の創始者であり[7]、後進の育成として学問を教えていた。ここで同郷の友と一緒に父親から教育を受けていた。

明治５（1872）年、横浜の高島嘉右衛門の藍謝堂（通称高島学校）で外国人ジョンバラ氏とモリス氏につき英学と理化学を習得。翌年、医学を志しセメンズ医師とウィリアム医師に従学している。

明治７（1874）年東京大学南校に通学する。（医学を志したのに、医学部の前身である東校に進まなかった理由は不明である。記載ミスの可能性もあるが、入学に関する資料が見つからなかった）。また、この頃、一等侍医岩佐純に師事している。

明治 10（1877）年４月、若干 18 歳で警察医試験に合格し警視第二病院に奉職。６月に陸軍軍医試験などに及第し、陸軍軍医試補（准奏任官）拝命。早速７月に、西南戦争に出張を命ぜられ、戦地鹿児島県国府で治療活動を始めた。死を覚悟していたようで両親に手紙を書いている。翌年６月に大阪鎮台歩兵第八連隊副官、９月に陸軍三等軍医となる。

明治 13（1880）年には３月正八位。大阪私立医学校教頭を兼務。15 年には５月陸軍二等軍医、６月に従七位となり、大阪博済病院附属医学校講師長嘱託なども勤める。

明治 17（1884）年、６月東京憲兵隊第一大隊医官。大阪から東京への異動である。その前の年に歩兵第五連隊副医官になっていたが上司とうまくいかず辞めることになっていたのが影響している。

明治 18（1885）年、５月陸軍一等軍医。７月正七位。６月軍医部送迎会においてインフルエンザについて述べるが、これが日本におけるインフルエンザ流行の発見となる。また、同月に「婦人束髪(そくはつ)会」を結成している（これについては後で述べる）。12 月渡米し、カリフォルニア大学医学部に入学している。生理学、病理学、薬物学、内科学、外科学、婦人科、産科、小児科、眼耳鼻咽喉科、黴菌学、顕微鏡学、法医学の計 12 科目を修め、明治 21（1888）年にドクトル・オブ・メディシンの学位を受けている（卒業論文は「肺炎論」）。そして、卒業とともにサンフランシスコのパアウル町 1010 番地に開業（現在の場所は不明）。

翌年、欧州を周遊。その翌年の明治 23（1890）年、思斎の死（卒中）により帰国し、６月郷土の要望で若松町（今の会津若松市）に会陽医院を開業した。

開業してから４年後の明治 27（1894）年に日清戦争に伴い、野戦病院の医官として務める。

2.3 日清戦争後亡くなるまで

日清戦争終了後、また会陽医院に戻るが、政治に興味を持ち、二度程、若松地区の衆議院議員に選ばれる（政治についても後述）。明治 37 年（1904）年日露戦争にも出征し、満州各地の野戦病院、舎営病院長として転戦する。終戦により帰国し、陸軍二等軍医正となり、従五位勲四等に叙せられる[5]。

明治 39（1906）年に上京。明治 41（1908）年に若松市で再度立候補するも落選。

正確な時期はわからないが、日本で初めてのラジウム専門院を日比谷に開設し、治療を行う。明治 44（1911）年以後、ラジウムの治療について、ほぼ毎年研究会や学会で発表している[6]。この件についても後で詳しく述べる。

大正６（1917）年に胃病の保養を兼ねて若松に戻り、桂林寺町（赤井町通り）に再度開業する[5]。同

年 5 月の会津日報[8]に会陽病院の広告が掲載されているので、この時期に開業したと考えられる。この時、会陽医院は内科、小児科、婦人科、ラヂウム科を掲げていた。

昭和2（1927）年、東京市大森区北千束町に転居隠棲[5]。

昭和 7（1932）年 7 月 18 日に亡くなった[5]。（75 才）。調査当時（昭和 25 年）、妻の渡部モンが藤沢市に住んでおり、三人の息子［長男　鼎三（52 才）、次男　司（45 才）三男（養子に出ていたため不明）］が存在していることがわかっていた[5]。

3.　ラジウム治療院及びそこでの治療について

3.1　ラジウム治療院について

明治 44（1911）年 6 月からウィカム法に基づきラジウム治療を始めている[9]ので、ラジウム治療院が開設された時期は、上京してからそれまでの間と思われるが、正確な時期は、不明である。

ラジウム治療についての学会報告は、大正3（1914）年から大正5（1916）年まで行われている[10][11][12][13]が要旨集等が発行されていないので報告の詳細は不明である。地方研究会については明治44（1911）年から発表を行っている[14][15]。学会発表の内容については表2にまとめる。

治療院が開設された場所は京橋区南鍋町 1-4[9]（現在の銀座 5 丁目周辺）である。大正2年 5 月の東京朝日新聞に広告が記載されているので合資会社であることがわかる[16]。この場所は東洋ラヂウム協会の創立事務所が設置された場所でもあり、電話番号も同じ[17]なので、渡部鼎が設立に何らかのかかわりをもっていたものと考えられる。またラジウムを使って美顔や吸入などを行っていたマダム・キュリー・カフェ（銀座尾張町1丁目1番地、現在の銀座5丁目）[18]のすぐ側である。

治療院が閉院した時期は、記録がないため不明であるが、大正時代後半の銀座の地図には掲載されていない。[19]

3.2　ラジウム治療の手法について

「通俗ラヂウム実験談」には、最初に三沢素竹がラジウムを用いてどのような治療が行われているかを紹介している。その中で、外科の土肥慶蔵らと共にラヂウム治療院についても述べている[9]。

ラヂウム治療院での治療法は注射法と照射法が記載されており、注射法では各種リューマチ及び神経痛、消化不良、神経衰弱、肋膜炎、糖尿病、痛風、赤鼻等の治療で成果を上げ、照射療法では子宮内膜炎、膣カタル、子宮頚肥厚等で、既に50名以上の実例を持つとされている[9]。

3.2.1　注射法

注射法については「ラヂウム注射療法実験」[20]と章をたて、渡部鼎がラジウムを実際にどのように使ったかが書かれている。それを表3としてまとめる。

この表には 17 件の例しか記載されていないが、実際にはもっと多くの患者を診ているものと思われる。ラジウムは鎮痛作用を目的として注射として投与した例が多いが、ラジウムを絆創膏のようなもので貼り、皮膚上に現れた癌を治療した例も含めている。

ラジウム溶液を注射する方法は必ずしも新しい手法ではなかった。「通俗ラヂウム実験談」にはラジオゲンの注射液（Radiogen-Injektionen）[21]というものが紹介されている。これは生理食塩水に臭化ラジウムを加えたもので、一瓶 2ml、1000 マッヘ［1 マッヘ=13.45Bq(Rn)／リットル］入っている。価格は一箱に 3 瓶入っていて、3 円 80 銭である。ラジウムを注射して治療を行う背景には、温泉の中からラドンが検出されたことにより、ラドンの効果を得るために、恒久的にラドンを発生させるラジ

ウムを体内に取り込めばよいという発想である。

「通俗ラヂウム実験談」に記載されている注射液は 1 種類しかないことから、当時それほどたくさんの種類の注射液が発売されていたと思われない。また、同じ言葉でも表現を変えてしまうところは文中にいくつも出てくるので、渡部の文章は投与されたラジウム注射液は患者によって表記が違うものの、使用した注射液はいずれも同じものである可能性が高い。そこで、「通俗ラヂウム実験談」に記載されていたものと仮定して話をすすめる。

投与されたラジウム核種は当時の状況から ^{226}Ra であると考えられる。ICRP 67[22] によると、経口摂取の場合 ^{226}Ra の換算係数は 2.8×10^{-7} (Sv Bq^{-1}) である。経口投与から血液への移行を 0.2 としているので、注射によって投与された場合の換算係数は 1.4×10^{-6} (Sv Bq^{-1}) であると考えられる。

渡部の方法では一回の注射で 2cc 投与しているのであるが、この投与量は、上記の情報から約 27Bq となり、この注射により生涯に 38μSv 被曝することになる。仮に 10 回注射しても 0.4mSv であり、一年間に自然界から受ける放射線の量 (2.4mSv) にすら達しない。

放射線の鎮痛作用は、骨に転位した腫瘍のような場合、QOL を確保する目的で現在でも利用されている[23]。また、最近では放射性骨転移疼痛緩和剤が開発されているが、^{89}Sr などのα線、β線放出核種が中心で、強いγ線を放出するラジウムを注射することはない。また、投与量も ^{89}Sr 注射液の場合、最低200MBqで渡辺鼎が投与した量とは比較にならないくらい多い[23]。外部線源から照射する場合は8 Gy が最良の結果を得る最小の線量であるとされている[24]。その線量を鼎が行ったラジウム注射に求める事はできない。

1929 年アメリカの Council on Pharmacy and Chemistry は飲用あるいは静脈注射用のラジウム溶液あるいはラドン水は薬として認可しないと決定している。その理由はこの種の治療は良くコントロールされた臨床実験では効果があると結論できないということである[25]。

このラジウムの静脈注射法という治療は効果を認めるには、多少無理があるように思える。

3.2.2 照射法

照射法では、フランスのウィカム氏の療法に基づいているとされる。「通俗ラヂウム実験談」ではウィカム氏が開発した貼用法の一つとして、ラジウムを塗布した絆創膏を、患部の周りにいくつも貼り、放射線を患部に集中させるという方法を紹介している[26]。同じ頃に発売された「ラヂウム療法」[27] という本でも、新しい治療法として Wickham の療法としてラジウムを塗布した絆創膏のようなものを貼るという治療法が掲載されているので、おそらくそれではないかと思われる。表 3 の 9 から 12、及び 14、15、17 に記載されている方法であろう。「通俗ラヂウム実験談」には、ラヂオゲンコンプレセ (壓定布) (Radiogen-Komplesse)[28] とラヂオゲン貼布剤 (Radiogen-Auflege-Praeparate)[29] が紹介されている。ラヂオゲンコンプレセは線量は不明であるが、α線が自己吸収のため使えず、β線とγ線を用いるようになっている。温水に浸して患部に載せ 6 時間から 10 時間放置することにより治療を行い、この布は反復して用いる事ができる。

バリウム硫酸塩と混ぜる事により、24 時間以上貼り続けてもやけどをしないように工夫した革製品が既にあったが、それをさらに改良する目的でラヂオゲン貼布剤は作られた。効力を高めるために自己吸収が減るように乾燥状態を保ち、麻布に $1cm^2$ 中に 1mg の $RaSO_4$ が含まれるように塗布したものを麻袋に包んで用いる (計算すると 22.3MBq/cm^2 となる)。ラジウム針は 1mg 含まれているものが現実に使われていた[30] ことを考えると、副作用を含めて何らかの効果があったように考えられる。現在はγ線の影響が大きいので、使われていない。

また、ラジウムの線源を用いて照射する方法も用いられており、表 3 の 16 はその治療例である。更

にボタン型のラジウム（2mg）や円筒形のラジウム塩（5mg）も購入している[9]ので、使用例は多かったものと考えられる。

東京大学医学部皮膚科でラジウム治療が始まったのは、1911 年であり[31]、まだ一般的には普及していない頃である。大学や軍の附属ではない小さな病院で、ラジウム治療が精力的に行われていた事は、特筆すべきことではないかと思われる。

4. 補足

渡辺鼎の人生を述べるに当たり、外せないことがいくつかあるので、それについて補足をしておく。

4.1 野口英世とのかかわり

野口英世の手術を行ったのは、明治 25（1892）年で、野口英世が 17 才の時である[32]。翌年、英世は会陽医院に薬局生として入門する[33]。日清戦争が起った時、渡部鼎は軍医として従軍したが、留守の間、事務一切を英世にまかせた。鼎が戻ってきた時に、英世は詳細な会計表「戦役中会計明細表」を提出して鼎を驚かせたというエピソードは有名であろう。明治 29（1896）年 9 月に英世が東京で医学を勉強しようとするとき血脇守之助宛の紹介状と金十円を餞別として与えた[34]。血脇守之助は英世の恩人となる人物の一人である。

この時の「会陽医院」の建物は照島敏明氏の尽力により、一階は喫茶店「會津壹番館」、二階は資料館「野口英世青春館」として、保存されている[35]。

明治 32（1899）年 1 月「病理学的細菌学的検究術式綱要」（半田屋医籍）を野口英世と共に編集出版している。このとき、野口英世は伝染病研究所助手であったため、序文[36]は北里柴三郎が書いているが、何故二人の共著となったかは書かれていない。翌年、英世は渡米している。

大正 4（1915）年、野口英世が 39 才の時、日本の帝国学士院より恩賜賞を授けられる。9 月 5 日に 15 年ぶりに帰国、各地で歓迎会が開催されている。9 月 20 日、血脇守之助主催の晩餐会に渡部鼎は出席している[37]。このあと、野口英世は日本に戻っていないので、おそらく、これが野口英世に会う最後の機会であったのだろう。

4.2 脚気について

明治 14（1881）年に、脚気について「脚気病新説」（医学舎）[38]を著述出版している。病原菌の説の立場をとっており、「福島県医襍録」によると翌年の 8 月に脚気病者の血液から黴菌を見つけている（この黴菌が何であったかは不明である）[4]。緒方正規が「脚気病菌」を発見したと公表したのは明治 18（1885）年であり、これが公的なものとして、1885 年 4 月 7 日の『官報』[39][40]に掲載されているので、鼎が見つけた菌は無関係の菌と認定されたものと思われる。

渡部鼎が衛生についていろいろ意見を述べていること（「束髪運動」や「人力車が衛生上経済上有害」の演説[4]）があるが、脚気予防の意図があったのかもしれない。

当時、海軍医では脚気の原因を食事と考えており、病原菌を原因と考えていた陸軍医との対立があった。海軍軍医総監高木兼寛は実際に、麦飯を食事に供した組と白米を食べさせた組とに分けて、脚気の発生を食事にあると証明していた[41]が、ドイツの医学を過信していた陸軍は自説を曲げなかった。陸軍に属していた鼎も、病原菌説を取らざるを得なかった。「明治 18 年 1 月 31 日大日本私立衛生会において学校寄宿舎問題に関連して海軍軍医総監高木兼寛氏と激論を交わす」[5]とあるが、高木兼寛はその

会で「脚気病予防説」という講演を行い、「食物中のタンパク質の割合を高めることによって、脚気患者を激減させることができた」と報告している[42]ので、実際は、学校寄宿舎のことだけではなく脚気についても激論を交わしていたと思われる。

4.3 束髪運動について

鼎は明治 18 年、6 月「婦人束髪(そくはつ)会」を結成する。新聞雑誌に意見を掲載させ、50 回もの演説を行った[4]。大日本私立衛生会埼玉支会の演説の内容の記録は残っているので読む事ができる[43]。

束髪とは髪を後ろで束ねた髪型である。今でも大学の卒業式になると頭髪にリボンをつけ、袴姿をした女子学生がよくいるが、この頭髪にリボンをつける髪型は明治時代の束髪がもとになっている[44]。明治初頭に男性の髪型は丁髷からざんぎり頭に変わっていったが、女性の髪型は日本髷のままであった。日本髪は結うのに時間も手間もかかる上、1人では結えないので不便であった。そのため、髪を洗わないで、寝る時もそのままということが多かったらしい。束髪は軽く髪をまとめるだけでできるので、1人で結う事もでき、洗髪が気軽にできるということで、推奨された。

明治20年4月には渡辺鼎自らの「束髪案内」[45]を著述出版（女学雑誌社）している。

4.4 政界進出について

明治31（1897）年、3月15日に第5回衆議院選挙が行われた。会津若松は、南会津、北会津、大沼、耶麻、河沼をあわせて、4 区とされた選挙区で 4 人が立候補し、2 人が当選した。渡辺鼎は自由党（憲政党）の推薦で立候補したが、惜しくも進歩党の候補者に敗れてしまった[46]。明治 32 年 11 月 25 日、立憲政友会福島支部が創立されたが、鼎はその時の発起人の一人となっている[47]。

明治 35 年に選挙法が改正され選挙区は市部と郡部に分かれた。第 7 回衆議院選挙の時、鼎は政友派として立候補し、衆議院議員当選を果たしている。翌年の総選挙にも若松市選挙区から立候補して、同じく当選を果たしている[48]。

明治 37 年にも第 9 回衆議院選挙はあったが、立候補しなかった。[49]日露戦争が勃発し、応召出征していたためと考えられる。明治 41 年 5 月 15 日に第 10 回衆議院選挙があった。この時、ほとんど柴四郎が当選すると思われていたが、5 月 12 日にいきなり若松に来て立候補を宣言した[50]。そして、慌ただしく市内をまわり、町内で演説した[50)51)]。5 月 16 日の投票結果では、137 票と次点止まりで、[52)53)]落選しているのがわかると、次の日の朝、応援者にも挨拶なく、慌ただしく若松を去っていった[54]。この件は会津日報でも酷評されている[50)51)54)]。これ以降、政界に出るということは無かった。

「遠き落日」では、「明治 27 年、日清戦争が始まるとともに、衆議院議員に当選していた渡辺鼎は」[55]と書かれているが、衆議院議員に選ばれたのは日清戦争後なので、著者は日露戦争と日清戦争を間違えたものと思われる。

引用文献

1) 読売新聞　11 月 2 日朝刊　19、(2002)
2) 朝日新聞　10 月 23 日朝刊　24-25、(2000)
3) 長谷川正康、第 8 章　X 線が歯科に応用されるまで、「歯科の歴史おもしろ読本」178-193、クインテッセンス出版、東京（1993)
4) 秋永常次郎(潜竜野史)、渡邊鼎「福島県医襍録. 第 1 編」83-101、秋永常次郎、福島、(1895)
5) 会津史談会講演集、「第 5 集　渡部鼎先生伝」8p、(1950)
6) 後藤五郎編「日本放射線医学史考」p. 81, 87, 111, 124, 136, 日本医学放射線学会、東京（1969)

7) http://www.fks.ed.jp/DB/kyoudo/60.nishiaizu1/html/00103.html
8) 会津日報、5月15日，4（1916）
9) 三沢素竹、通俗ラヂウム物語、三沢素竹編「通俗ラヂウム実験談 」1-53、東洋ラヂウム協会，東京（1913）
10) 日本内科学会雑誌、2（1）66-69（1914）
11) 後藤五郎編「日本放射線医学史考」111，日本医学放射線学会、東京（1969）
12) 日本内科学会雑誌、3（1）50-60（1915）
13) 日本内科学会雑誌、4（1）38-48（1916）
14) 軍医団雑誌、(27) 824（1912）
15) 軍医団雑誌、(39) 148（1913）
16) 東京朝日新聞、5月31日 6（1913）
17) 東洋ラヂウム協会創立事務所、東洋ラヂウム協会宣言、三沢素竹編「通俗ラヂウム実験談 」1-4、東洋ラヂウム協会，東京（1913）
18) 後藤五郎編「日本放射線医学史考」99-100，日本医学放射線学会、東京（1969）
19) 大正14年部分修正 新橋、「明治・大正・昭和 東京1万分1地形図集成」32、柏書房，東京（1983）
20) 渡部鼎、ラヂウム注射療法実験、三沢素竹編「通俗ラヂウム実験談 」136-142、東洋ラヂウム協会，東京（1913）
21) 三沢素竹編「通俗ラヂウム実験談 」199-200、東洋ラヂウム協会，東京（1913）
22) "ICRP publication 67, Ingestion dose coefficients, vol. 23, no.3/4", 85-93, Published for the International Commission on Radiological Protection by Pergamon Press, Oxford; Tokyo (1994-1995)
23) 岸和史、白井信太郎、園村哲郎、佐藤守男、対症療法 c.骨転位の放射線治療、大川智彦 他編、「癌・放射線療法2002」篠原出版新社、東京（2002）
24) Vargha, Z., Glicksman, A. and Boland, J. Single-dose radiation therapy inn with palliation of metastatic disease, Radiology, 93, 1181-1184 (1969)
25) 舘野之男「放射線医学史」292-294、岩波書店、東京（1973）
26) 三沢素竹編「通俗ラヂウム実験談 」180-187、東洋ラヂウム協会，東京（1913）
27) 藤浪剛一「ラヂウム療法」79-81、南山堂書店，（1913）
28) 三沢素竹編「通俗ラヂウム実験談 」200-202、東洋ラヂウム協会，東京（1913）
29) 三沢素竹編「通俗ラヂウム実験談 」203-204、東洋ラヂウム協会，東京（1913）
30) 北川俊夫、小線源治療、江藤秀雄等編、「放射線医学 第2版 下巻」246-260、医学書院、東京（1967）
31) 後藤五郎編「日本放射線医学史考」82，日本医学放射線学会、東京（1969）
32) 渡辺淳一「遠き落日（上）」77、角川書店、東京（1982）
33) 渡辺淳一「遠き落日（上）」86、角川書店、東京（1982）
34) 渡辺淳一「遠き落日（上）」96-97、角川書店、東京（1982）
35) 野口英世めぐる人々3、福島民報 2月27日、9、(2004)
36) 北里柴三郎、序、「病理学的細菌学的検究術式綱要」、半田屋医籍、東京（1898）
37) 渡辺淳一「遠き落日（下）」139、角川書店、東京（1982）
38) 渡辺鼎「脚気病新説」126p、医学舎、大阪（1881）
39) 緒方正規、「脚気病発見ノ儀開申」官報526号 7-9（1885）
40) 緒方正規、「脚気病発見（内務省報告ノ続）」官報527号 6-8（1885）
41) 松田誠、第三章脚気の栄養説を樹立 「脚気をなくした男 高木兼寛伝」63-81、講談社、東京（1990）
42) 松田誠、第四章脚気の栄養説はやがてビタミン学説へ 「脚気をなくした男 高木兼寛伝」83-120、講談社、東京（1990）
43) 渡邊鼎（演説）、伊藤新太郎（筆記）半開化は衛生の害、「講談演説軌範 ： 言語之写真」137-148、国友館、東京（1887）
44) 本多隼男、束髪会の提唱者 渡部鼎について、文化福島(127)4-5，（1982）
45) 渡辺鼎、「束髪案内」78p、女学雑誌社、東京（1887）
46) 半谷真雄編「立憲政友会福島県史」650-653、立憲政友会福島県史編纂会（1929）
47) 半谷真雄編「立憲政友会福島県史」858-873、立憲政友会福島県史編纂会（1929）
48) 半谷真雄編「立憲政友会福島県史」654-656、立憲政友会福島県史編纂会（1929）
49) 半谷真雄編「立憲政友会福島県史」657-661、立憲政友会福島県史編纂会（1929）
50) 会津日報 5月16日，2（1907）
51) 会津日報 5月14日，2（1907）
52) 会津日報 5月17日，2（1907）
53) 半谷真雄編「立憲政友会福島県史」662-666、立憲政友会福島県史編纂会（1929）
54) 会津日報 5月19日，2（1907）
55) 渡辺淳一「遠き落日（上）」89、角川書店、東京（1982）

表1　渡部鼎の年譜

		渡部鼎の年譜		事件・出来事、野口英世の略年譜
1858	安政5	1	9月、河沼郡野沢、渡邊思斎の元に生まれる	安政の大獄
1871	明治4	14		
1872	明治5	15	横浜の高島嘉右衛門の藍謝堂（通称高島学校）で英学と理化学を習得	
1873	明治6	16	医学を志しセメンズ医師とウィリアム医師に従学	思齋、報知新聞に規戒
1874	明治7	17	東京大学南校に通学、一等侍医岩佐純に師事する	
1876	明治9	19		11月9日野口英世、生誕
1877	明治10	20	4月、警察医の試験に及第し、警視第二病院に奉職 6月、陸軍軍医試験に及第し、陸軍軍医試補（准奏任官）拝命 7月、西南戦争に出張を命ぜられる	9月24日、西南戦争終了
1878	明治11	21	6月大阪鎮台歩兵第八連隊副官 9月陸軍三等軍医	
1879	明治12	22	12月鹿児島征討に参加	
1880	明治13	23	3月正八位 大阪私立医学校教頭を兼務、大阪鎮台病院課僚	
1881	明治14	24	打聴診器を工夫し「渡部氏打聴診器」を作る（大阪私立医学校生徒が使用） 9月「脚気病新説」を著述出版	
1882	明治15	25	大阪博済病院附属医学校講師長嘱託 大阪医事会同社幹事に選ばれる 5月陸軍二等軍医 6月従七位 大阪医事研究会長に推薦 8月脚気病者の血液から黴菌を見つける（脚気菌説）	
1883	明治16	26	歩兵第五連隊副医官 9月一等級下げられる	
1884	明治17	27	6月東京憲兵隊第一大隊医官	
1885	明治18	28	2月麹町区長らと議論し、麹町区衛生会を起こす 5月陸軍一等軍医 6月軍医部送迎会においてインフルエンザについて述べる（日本におけるインフルエンザ流行の発見） 6月「婦人束髪(そくはつ)会」を結成。 7月軍医学会幹事に再選、正七位 12月渡米、カリフォルニア大学医学部に入る	
1887	明治20	30	4月「束髪案内」を著述出版	
1888	明治21	31	学位を受ける。卒業とともにサンフランシスコに開業	
1889	明治22	32	欧州を周遊	
1890	明治23	33	思斎の死（卒中）により帰国 6月郷土の要望で若松町に会陽医院を開業	
1892	明治25	35	野口清作の手術	
1893	明治26	36	11月大日本医会の大会（東京）に会津地方部の代表者として出席	野口清作、会陽医院の書生になる
1894	明治27	37	日清戦争。第二師団第一野戦病院医官	野口清作、留守中の経営を任せられる。
1895	明治28	38	舎営病院長陸軍二等軍医正として清国盛京安東県へ	
1896	明治29	39	日清戦争終了後春に帰国。会陽医院に戻る	野口清作、上京・医術開業前期試験に合格。血脇守之助のいる高山歯科学院に住込む
1898	明治31	41	3月、第5回衆議院議員選挙に立候補するも落選	野口英世（清作を改名）、伝染病研究所に勤務
1899	明治32	42	1月「病理学的細菌学的検究術式綱要」を野口英世と共に編集出版	野口英世、横浜の開港検疫所医官を命じられる。その後牛荘に行き、国際予防委員会中央医院に勤務
1900	明治33	43		英世、一旦帰国後、渡米
1902	明治35	45	第7回衆議院議員選挙　当選	
1903	明治36	46	第8回衆議院議員選挙　当選	

1904	明治37	47	日露戦争に応召出征、満州各地の野戦病院、舎営病院長として転戦	2月10日　日露戦争勃発 3月1日第9回衆議院議員選挙
1905	明治38	48	終戦により帰国	
1908	明治41	51	第10回衆議院議員選挙　次点	
1911	明治44	54	日本初のラジウム治療病院を開設 6月よりウィカム氏ラヂウム療法によるラヂウム治療開始	
1912	明治45	55	東京の研究会で発表	
1913	大正2	56	東京の研究会で発表	
1914	大正3	57	第11回日本内科学会、軍陣医学会で発表	
1915	大正4	58	第12回日本内科学会で発表 9月20日血脇守之助主催の晩餐会	9月5日野口英世、米国より帰朝。11月4日に帰米。
1916	大正5	59	第13回日本内科学会で発表	
1917	大正6	60	胃病の保養を兼ねて若松に戻る 桂林寺町に再度開業	
1927	昭和2	70	東京市大森区北千束町に転居隠棲	
1928	昭和3	71		5月21日、野口英世、ガーナで死亡
1932	昭和7	75	7月18日同所にて死去	

表2　ラジウムに関する学会発表の一覧

発表年月日	演題	大会名	開催場所	備考	文献
1912年 9月29日	「ラヂウム」療法及ヒ生理的療法輓近ノ進歩	東京研究会		出席者34名、 演題は他に1つ	14
1913年 10月25日	「ラヂウム」実験談　附新着最近［ラヂウム］製品及製剤諸品ノ供覧	東京研究会		出席者42名、 演題は他に1つ	15
1914年 4月	「ラヂウム療法に就いて」	第11回日本内科学会総会	東京法科大学 第30番講堂[10]		11
1914年	「ラヂウム療法に就いて」	軍陣医学会			11
1915年 4月2日	「ラヂウム」ノ内科的療法	第12回日本内科学会総会	東京法科大学 第30番講堂	討論　医学士　真鍋嘉一郎	12
1916年 4月2日	「ラヂウム」ノ内科的疾患ニ於ケル五年間ノ成績　附「ラヂウム」ノ尿利ト脈搏	第13回日本内科学会総会	東京法科大学 第30番講堂	討論　医学士　吉本清太郎	13

表4　議院選挙結果一覧表

回数	選挙実施	当選者	票数	所属政党	落選	票数	所属政党
5	31.3.15	柴　四朗 佐治幸平	1573 1516	進歩党 進歩党	日下義雄 **渡辺　鼎**	987 **941**	中立 **中立**
7	35	**渡辺　鼎**	**177**	**政友会**	秋山清八 前田兵郎 その他	90 64 2	憲政本党 政友会
8	36.3.1	**渡辺　鼎**	**134**	**政友会**	秋山清八 柴　四朗	120 74	中立 中立
10	41.5.15	柴　四朗	405	大同倶楽部	**渡辺　鼎** その他	**137** 4	**政友会**

表３　ラヂウム治療院での治療例[20)]

	患者	症状	対処	
1		筋肉リューマチ（毎年春秋に発作を起す）	ラヂオゲン注射液 2cc を二日にわたり注射、二日休んで更に 2cc ずつ４回注射	疼痛がなくなり発作がなくなった。
2	61 才	座骨神経痛。胃ガンの疑い（食欲不振、胃部壓痛、便秘、噫気、嘔気、栄養不良、漸次衰弱、胃部に抵抗鈍痛。	ラヂオゲン、インジェクション 2cc 二日連続注射し、二日休む。これを繰り返し６回注射。	座骨神経痛が治り、歩行自由となる。胃癌の疑似症状が軽くなる。
3	33 才	筋肉リューマチ	ラヂオゲン、インジェクション３回の注射。	疼痛がなくなり発作がなくなった。
4	35 才	左胸部肉腫（手術により一部は除去するが激しい痛みを生じる）	ラヂオゲン、インジェクション 2cc の注射。二日後、更に３日後、更に５日後に注射。	初日は痛みが軽減しない、２回目以降に疼痛が減少するが、経費の都合により途中で中止。腫瘤には変化無し。
5	49 才	月経痛	ラヂオゲン、インジェクションを注射。前後６回。	症状が軽減。莫比の注射を１日１回に減少させる。身体の栄養がよくなる
6	44 才	神経衰弱。36 才の時脳病にて治療を２年間受ける。以来胃病と頭痛が頻繁に起きる。２ヶ月前より腰神経痛。	毎日１回、腰部に筋肉注射。都合４回	神経痛全治。頭痛もほとんど治る。
7	28 才	神経衰弱（転位性の筋肉リューマチ）	最初の２日間、ラヂウム注射１回、２日休止、さらに２日間継続を繰り返し、10 日間に６回の注射。毎日１回の入浴を指示。	リューマチの完治、神経衰弱症は軽減
8	28 才	喘息（呼吸困難、呼気延長、咳嗽喘鳴、顔面蒼白）	ラヂウム注射	３日後発作が止む。気管支カタルが残る。
9	30 才	肋膜炎（身体不和倦怠、熱が 38-39 度、胸部に疼痛、滲出液増加、食欲減少、呼吸困難）	毎日１回、二日間ラヂウム注射、二日休み、ラヂウムコンプレッセを患部に貼る、内服としてケルモル、ラクトの散剤コンツランコレゾルチンビア	滲出液減退、３週間で完治
10	12 才	外傷肋膜炎（食欲減、全身倦怠、微熱、胸部疼痛、左胸部呼吸運動減少、左胸第三肋骨以下欠損し同所の呼吸音が全く無くなる）	ラヂウム注射療法（２回の注射）、ラヂオゲンワッセルを内服、ラヂウムコンプレッセを患部に貼る	２週間にて全治
11	31 才	神経痛（肋間神経痛、疼痛が２ヶ月続く）	ラヂウム注射、ラヂウムプラスターを貼る（２回）	疼痛完治
12	50 才	糖尿病、半身不髄	ラヂウム浴、ラヂウム注射	糖尿病に効果あり？（赤坂区医師会で発表）
13	48 才	筋肉リューマチ	ラヂウム注射５回	完治
14	59 才	不明の腫瘤、デルモイト？（手術で腫瘤を除去したが再発、鼻腔粘膜の疾患により呼吸障害、左耳聾、咳嗽）	ラヂウム元素療法	２回目で、鼻呼吸障害が緩解し、咳嗽も減少。６回目で音声聴取ができるようになり腫瘤縮小し始める
15	56 才	癌腫（舌癌、手術するが再発。再度手術するが根治せず、右頸に転位し、拳手大の癌腫瘤を発し疼痛が甚だしい状態	ラヂウム元素（ストラーレン）を貼用。	頚部の癌腫化膿し一時疼痛増劇するが、多量の膿を排泄し腫瘤は非常に縮小し、瘡面漸次治癒に向かう。
16	30 才	慢性子宮内膜炎	ラヂウム元素を鉛板で包み子宮頚より１から２時間送置し、隔日に３週間実施。	症状がなくなる
17	55 才	慢性関節リューマチ	毎日１回ドリンクエマナトールの飲用、膝関節にラヂウム元素療法、イオチン療法	一ヶ月半でほとんど全快

「放射線教育」Radiation Education
Vol. 8 No. 1, p. 59 - 64 (2004)

インドネシア科学技術館の原子力展示に携わって

田村直幸
元日本原子力研究所、元日本原子力産業会議ジャカルタ連絡事務所
〒167-0021 東京都杉並区井草 3-10-15
(2005 年 3 月 15 日　受理)

[要約]　1995 年 10 月に一般人を対象としたインドネシア科学技術館がジャカルタにオープンした。当時のハビビ研究技術担当国務大臣からの依頼で、日本は米仏と並んで原子力関係の展示物の設置、教育資材の供与などで協力した。展示物については当初送られたものがインドネシアの一般人向けの展示には適さず、新たに製作したものを改めて設置した。現地に駐在して日イ協力に携わった立場から展示協力の内容と問題点を述べるとともに、これに関連してインドネシアにおける原子力・放射線の PA 活動について感じたことを述べる。

1.　科学技術館出展協力の経緯

インドネシアの首都ジャカルタの南部にタマン・ミニ (Taman Mini Indonesia Indah) という大公園がある。100 ヘクタールの広大な敷地の中央に人造湖があり、その中にインドネシアの国土をかたどった島々が並んでいる。その周囲にはインドネシアを構成する各州の伝統的な家屋、交通博物館、通信博物館、電気･新エネルギー博物館、昆虫博物館等の各種博物館、バードパークなどが配置されていて、ジャカルタ一番の観光地だ。

1995 年 10 月、その一角にインドネシア科学院 (LIPI) 所属の科学技術館 (PPIPTEK, Pusat Peragaan IPTEK) がオープンした。一般人、学校生徒を対象に、科学技術に親しんでもらうというのが設立の目的である。３階建ての円形の巨大な建物でそのデザインはスハルト大統領夫人が関与したといわれる。当時のハビビ研究技術担当国務大臣から先進各国の機関、企業に対して展示物出展の協力が 1994 年に依頼された。展示品については仕組みを理解できるような動きのあるもの、企業の宣伝にならないようにというものだった。日本の各企業からも電気、機械、自動車、繊維などいろいろな分野で展示物が寄贈されている。その中のエネルギー広場の一角に原子力エリアをつくり、日米仏の 3 カ国に出展の協力が依頼された。日本は日本原子力産業会議（原産)、米国はウェスティングハウス社、フランスはフラマトム社である。

当時、インドネシアはスハルト大統領－ハビビ大臣のラインで原子力発電所建設計画を推進していた時期であり、現地の新聞は 1997 年国際入札、1998 年建設開始などと報じていた。先進各国の企業・機関による原発の建設・技術・安全性に関するセミナーがインドネシア原子力庁（BATAN）との共催で盛んに行われていた。一方、1995 年頃には外国からの扇動者も入って、反原発を掲げるデモも目立った動きをするようになっていた。

LIPI のヘルディ次官（科学技術館長兼務、後に標準庁長官）から、どのようないきさつかわからないが原子力発電所に関する展示はフランスへ、原子力安全技術に関する展示は米国へ、発電以外の原子力利用に関する展示は日本へ依頼状が送られた。当時、原子力商戦華やかだったのだろう、フランスは当然のことながら米国も結局送り込んだのは宣伝用の派手

な原子力発電施設の展示物だった。

日本は原産が委員会をつくって検討し、原子力エリアに設置する展示物のほかにエネルギー資源に関するビデオテープとそれを放映する TV・ビデオセットを寄贈することにした。展示物についてはインドネシア側の希望は発電以外の原子力利用に関するものであったが、原発建設計画を推進していたという当時のインドネシアの状況を考慮して、日本もやはり原子力発電関係の展示物を出展することになった。このほか、一般人に放射線を理解してもらうための自然放射線測定に協力した。

1995 年 9 月に原産ジャカルタ連絡事務所に赴任して、早速待ち受けていた仕事が、この科学技術館の原子力展示物の整備と問題解決だった。日本側のインドネシアに対する理解不足、コミュニケーションの行き違いなどもあって、当初送られてきた展示物はそのままでは一般人を対象とする展示に堪えず、最終的に日本展示物が整備されたのは 1998 年 12 月であった。この間のインドネシア側との調整で、日本では考えられない多くの経験をすることが出来た。日本とは大分違う事情が興味深いと思われるので、インドネシア科学技術館に置かれた展示物について紹介するとともに、インドネシアにおける原子力・放射線 PA にも触れたい。

2．インドネシア科学技術館に置かれた展示物

2．1 ビデオテープおよび放映用 TV・ビデオセット

提供されたビデオ「46 億年の贈り物－地球とエネルギー資源」（電気事業連合会製作）は、地球の歴史と現代のわれわれが地球上の資源を如何に享受しているかという内容で、一般人向けになかなかよく出来ている。吹き替えられたナレーションのインドネシア語は現地のインドネシア人にもきれいな言葉と発音で好評だった。吹き替えは在日のインドネシア人のアナウンサーとのことだ。このビデオは好評を博し、科学技術館の講堂で頻繁に上映された。地元の小学校の一団がこの映画を見る機会に招かれたことがある。果たして小学生がこのような内容に興味を持つのかと思って子供たちの顔を見ていたら、なんと食い入るようにして見つめ、歓声をあげていた。特に、裸の幼児が映される場面では場内は笑いに包まれた。インドネシアでは人前で裸になることを恥ずかしがり、温泉でもパンツ、シャツも着けてお湯につかるのだ。

TV・ビデオセットは、ジャカルタで当時入手できる最大の大画面 TV とビデオのセットを購入して現地に送った。展示エリアに設置する予定だったが、科学技術館側からオープンの展示エリアに設置すると盗難の恐れがあるので、簡単に持ち運びの出来ない筐体をつくって設置して欲しいとの要望が出された。結局、同じエリアに設置する原子力展示物が整備されるまでは、館内の事務所に保管することになり、ビデオは講堂での上映だけになった。

展示エリアに設置する原子力展示物の整備が大幅に遅れて 1998 年 12 月になり、筐体の設置はその後の 1999 年 6 月になった。筐体の製作、設置は現地の業者に依頼、数席の椅子のついた瀟洒なデザインの筐体が出来上がった。それ以降は講堂での上映だけでなく、来場者の依頼に応じてエリアに設置された TV で随時ビデオを映すことが出来るようになった。なお、ヘルディ館長から今度のビデオは非常に評判がいいので環境などに関する新しい日本のビデオの提供を検討してもらえないかとの要望が出されている。

２．２ 自然放射線の測定

日本では一般人に放射線を理解してもらうのに簡易放射線測定器の利用が有効で、実際に身の回りの自然放射線を興味を持って測定している一般人も多い。そこで科学技術館のインドネシア人来場者にもそのような興味を持って欲しいと考えた。ところが科学技術館の担当員の中で放射線測定の経験者はおらず、放射線のことを説明できる人がいないという。担当課長のプルワンドコ氏と相談し、BATAN の教育訓練センターで臨時研修を受けてもらうことになった。LIPI のスフィアン長官から BATAN のアヒムサ長官に依頼状が送られ、5 人の担当員が教育訓練センターで放射線の 1 日研修を受けることになった。いずれも理科系の大学を卒業した人達だが、放射線の勉強は初めてだという。

BATAN の教育訓練センターはジャカルタ南西のパサジュマ研究地区の一角にある。午前中は講義、午後は測定で、5 人の人達がどのように研修を受けるか気になり、1 時間だけ同席した。講師は教育訓練センターの技術者研修で放射線の講義を受け持っている若い教官だ。インドネシア語の講義なので言葉はわからないが、なかなかうまい説明なのと彼等もよく質問していたので内容はよくわかったようだ。スハディ教育訓練センター長には、科学技術館における放射線測定について協力を依頼した。

しばらくして、科学技術館内に自然放射線測定室が設けられ、種々の岩石を並べて来場者に測定をしてもらう段階に漕ぎ着けた。しかしインドネシアの一般の人達は放射線に興味を示さないようだ。測定値に何の興味も示さなかっただけでなく、自然界に放射線があるという事実にも反応はなかった。原発がすでに 50 基以上設置されている日本に住んでいて原子力、放射線に敏感な日本の一般人とは違うのは当然だろうが、それだけではないようだ。物事に屈託なく、万事あまり疑問を感じない民族性のせいかもしれない。

２．３ 原子力展示物

（１） 米仏の展示物

原子力展示エリアは科学技術館 3 階に配置されている。ここを三つに分けて日米仏 3 カ国の展示物が設置されることになった。企業競争にならないようにという配慮からか、３カ国は前述のように異なる展示物が依頼された。

フランスは依頼された原子力発電所の原子炉の模型と原子力発電所全体の展示物を、当時原子力発電所の売り込みに来た部隊が科学技術館のオープンに合わせてさっさと自分たちで組み立てて行ったという。派手な色を使い、デザインもよくさすがにフランスと思わせる展示である。説明もすべてインドネシア語だ。フランス国内ですべて製作してきたものだというが、科学技術館の担当者の話ではこのインドネシア語は少しおかしいと言っていた。

米国は当時売り込んでいた PWR の一般人向けの簡易模型と原子力発電所の仕組みで、これも自分達で組み立てて行ったが、内容は依頼された原子力安全技術ではない。インドネシア語の説明はフランス同様宣伝臭の強いものだ。他の分野でも欧米諸国の企業は宣伝臭の強いものが多く、これに対し日本の企業はインドネシア側の希望どおり企業名も出さず、仕組みを理解できるように工夫しているのが目についた。インドネシア側の話では宣伝臭の強いことは気になるが、折角送って頂いたものなので当面はそのままにし、機会を見て検討するとのことだがその後どうなっているだろう。

（2）日本の展示物

日本には発電以外の原子力利用をとの依頼状が LIPI のヘルディ次官から届いたのだが、すでに原子力発電に関する展示という前提で委員会の検討が行われていたのと、当時の情勢から、原子力発電展示物でインドネシア側の了解をとることになった。丁度ジャカルタに赴任したばかりで、前任者に伴って LIPI にヘルディ次官を訪ねた。ヘルディ次官は「いいでしょう。しかし、企業競争にならないように」との答で、日本側はこれを「イエス」と受け取ったが、後になって実はこれは「ノー」であることがわかった。

赴任後しばらくして科学技術館の事務所に挨拶に行ったところ、担当部長のアムル氏の話では展示物については日本には環境や放射線利用に関するものを期待していたとのことだった。あの時のヘルディ次官の「イエス」は日本には原子力発電展示物は断ったつもりだったのだ。その後、インドネシア人、特にジャワ人の「イエス」はその時のニュアンスで「ノー」である場合が結構多いことを経験している。婉曲な断り方はジャワ人特有のものだが、日本人の中にも共通したところがあるかもしれない。この段階で発電以外の原子力利用展示物に変更することは困難であり、アムル氏には了解してもらった。

1996 年 1 月になって日本からの展示物が現地に届いたという連絡があった。すでに設置されている米仏の派手な展示物の間のエリアに目立たないガラスケースが置かれていた。東芝が以前に製作した柏崎刈羽原発の 1 号機・2 号機のガラスケースに入った模型と燃料棒アセンブリーの模型で、説明も名称も日本語で書いた名札が並んでいた。スハルト政権下では漢字を人目につくところに出すのは禁じられている時代だった。また、技術者を対象としたもので極めて精緻に出来ており、細部まで名称がつけられて、そのままではとても一般人を対象とした展示には適さない。おまけに古いせいか、傷んだところや手垢で汚れているところもあった。これが日本の展示物かと目を疑った。科学技術館の担当者の顔は明らかに落胆を示していた。

いずれにしてもこのままでは展示するわけにはいかない。早速、日本側に展示場の状況を説明し至急改善する必要があることを連絡したが、日本側の返事は、予算の問題もあってあとは現地で手直しして欲しいとのことだった。インドネシアの一般人を対象とした展示物としてはこれでは落第で、企業競争ではないといえ両側にあるフランス、米国の展示物にくらべてはるかに見劣りがするだけでなく、日本語の説明をそのままにして展示するなどは論外だ。インドネシア側には改善することを約束し、展示物はエリアの隅に保管してもらった。その後日本からの来訪者には時間があれば現場を見てもらい、日本展示物の状況を認識してもらう努力をした。

（3） 新たな展示物の製作と展示場の整備

1996 年 12 月になって東京電力の宅間正夫氏（当時、原子力本部副本部長）が来イし、科学技術館の展示物を視察されてから事態は動いた。宅間氏が製作者である東芝に連絡、1997 年 2 月に東芝の待場浩氏（当時、原子力プラント計画部長）が来イした時に科学技術館を視察、帰国後、東芝が展示物を新たに製作することが決定した。新しく製作する運びとなったのはお二人のおかげであり、大変感謝している。

1998 年 1 月に今回の展示物を担当する東芝の木原章雄氏が来イ、科学技術館の展示現場を視察した。その後、展示物の内容についてメール、FAX 等で打ち合わせが何度も行われ

た。原子力発電所の安全対策も入れることになった。展示物の説明文、名称のインドネシア語への翻訳は科学技術館の担当者と BATAN の専門家に依頼した。製作はすべて日本で行われ、組立ても日本人技術者が現地で行うことになった。

新展示物を設置することに決まってから、科学技術館側から日本展示物の設置場所の変更の提案があった。エネルギーエリアは 3 階にあるが、経済危機になってから電力の節減を義務付けられ、3 階だけ冷房を止めざるをえなくなり、おまけに 3 階は一部雨漏りもする。移動困難なものを除いて下の階に移動し 3 階は閉鎖する。米仏の原子力展示物はすぐ移動できないので当面そのまま置いておくという。日本展示物の設置場所の候補は 1 階の入場口から左手に行ったところだ。人通りの多いところなのと、展示物を設置するには十分の広さなので了承した。

1998 年 12 月に東芝の木原氏と展示物製作を担当した共栄企画社の技術者 2 人がジャカルタに見えて、現地での作業が行われた。BWR 原子力発電所の特徴と安全対策が主なテーマである。当初送られたガラス箱に入った原子力発電所の模型と燃料棒アセンブリーの模型もうまく利用したレイアウトである。もちろん日本語はすべて削除し、衣替えして新品同様になった。3 日間の作業で展示物は完成した。日本人技術者がきっちりと組み立てたものはさすがに素晴らしいと科学技術館の人達はしきりに感心していた。終了後、ヘルディ館長から最大の謝辞が日本人技術者に述べられた。3 年間のストレスが解消した気持ちだった。東芝の展示物完成後、原産から送られた TV・ビデオセットを展示エリアに設置するための筐体が 1999 年 6 月に完成、懸案の日本の展示物はやっと終了した（写真）。

当初、日本側が先方の希望に沿わない展示物を送ってしまったのは、インドネシアの一般人を対象とする科学技術館に何がふさわしいかを十分に考慮せずに事を運んでしまったのと、何か不備があっても後はインドネシア側が適当に処理してくれるものと勝手に判断したことにあると思われる。内容はともかく、米仏がインドネシア向けに新たに製作して乗り込んできた姿勢は評価できる。現地に赴任してからこの問題の解決にあたる羽目になったが、おかげでインドネシア人の気質や考え方を理解するのに役立ったと思う。

写真　科学技術館の日本の原子力展示（左は原子力発電所　右は TV・ビデオセット）

3．日本とは異なるインドネシアの原子力・放射線 PA 事情

1995 年 9 月ジャカルタ赴任当時、インドネシアでは原子力発電建設計画が推進されていた。この時期は原発反対を叫ぶ国外からの NGO が目立っていたが、スハルト政権下ではインドネシアの指導者層やマスメディアの反対意見は表には出なかった。その頃原子力 PA 対策は、もっぱら国会議員、政府機関関係者、地方政治家、宗教指導者、国軍幹部、学校教員などを対象としていた。一般民衆に影響力のある階層を対象に原子力発電の意義を理解してもらえば、一般民衆はそれに従うという考え方だ。この中で宗教指導者とは日本では考えられないかもしれないが、インドネシア人の 90%近くがムスリムであり、彼らのイスラム教指導者への尊敬の念は日本では想像できないほど大きいことを考えれば理解できよう。

1997 年 8 月から始まったインドネシアの経済危機に端を発して、1998 年 5 月には全国的な暴動に発展、スハルト大統領は退陣し副大統領になっていたハビビ氏が大統領になるという事態になった。それまで発禁されていた“TEMPO”などの政府に批判的な週刊誌が復刊するなど、原子力 PA にとって批判力を高めたマスメディアが最重要な相手になってきた。また、スハルト政権時代には鳴りを潜めていた国会議員も盛んに意見を述べるようになってきた。インドネシアの原子力発電計画は遠のき、BATAN の研究開発は国民生活の向上に直接役立つ放射線利用・研究炉利用に重点をおいて進めることになった。その後 2001 年になって原子力発電の将来計画の議論が再び始まっている。将来原子力発電建設計画が具体化すれば、一般民衆の意識も高くなると考えられ、一般人を対象とした PA も必要になろう。

一方、放射線 PA は一般人が対象であるが、安全よりも放射線利用に重点が置かれている。日本では“放射線”と聞くとまず危険なものというイメージがあるが、インドネシア人にとって“Radiasi”（放射線のインドネシア語）という響きに、特に恐れを持たないようだ。放射線利用は国民生活の向上に役立つという観点から、BATAN は地方政府との協力で放射線利用成果の展示・講演などを各地方で開催し、成果の普及に力を入れている。

放射線利用の中で日本ではなかなか理解をえられないのが食品照射だが、インドネシアではむしろ歓迎だ。ジャカルタに赴任してからすぐ、食糧庁と BATAN との共催で照射食品夕食会が夫人（配偶者）同伴で開催された。えび、苺など、まだ認可が得られていない食品が多かったが、参加者は放射線照射を食品保存の安全な方法として理解し、むしろ味がどう変わるかを気にしていた。どうやら日本の消費者と違って放射線照射そのものに抵抗がないらしい。その後も時々照射食品の入った食事会を経験したが、人々はごく自然に食事を楽しんでいた。

日本で唯一認可を受け、商業化されているのがジャガイモの発芽抑制であるが、食品そのものの生物的変化を利用するという点で一般人から好感をもたれているとはいえない。これに対し他の国では香辛料などの殺菌・殺虫などによる食品の保存から食品照射が始まったところが多い。放射線によって殺菌されるという事実が、食品がきれいになるというイメージを人々に与え、日本と違って食品照射への抵抗がほとんどない理由だろう。

PA 活動は対象とする相手があり、相手の環境、考え方、興味を十分に理解する必要があることをインドネシアにいて感じた。自分が正しいと考えていることを教えるだけでは本当の理解は難しい。

「放射線教育」Radiation Education
Vol. 8 No. 1, p. 65 - 76 (2004)

ＪＣＯ臨界事故をふりかえって

杉　暉夫
日本原子力研究所ＯＢ、インフォメーションプラザ東海
〒319-1112 茨城県那珂郡東海村村松 1284-37（自宅）
(2005 年 3 月 15 日　受理)

原研を定年退職した東海村民としてＪＣＯ臨界事故を体験した。当時、退職６年目に入っていたが、現役時代に所属していた研修センターの非常勤講師を務めて居り、元の職場に出入し現役の人達とも意見交換ができた。勤務時間に縛られない立場だったので、東海村や東京で開かれた種々の会合や講演会にも自由に参加した。５年が過ぎた今、事故発生当時の日記、裁判傍聴メモ、施設保存問題の経緯を通じて事故を回想した。

事故当時の日記

１９９９年

９月３０日（木）　車が故障したので修理工場に入れ、昼頃、家で一休みしていると、村内放送が鳴り出した。「ウランの転換施設で事故が起き、付近のγ線モニターの指示が平常値の１０倍近くに上がった」という。

転換施設が村内にあることは知っていたが、ウランは比放射能が低く、例え施設外に洩れたとしても「モニターの指示が平常値の１０倍」は納得できない。間違いだと思った。間もなく「指示は平常値に戻った」との放送があり、念のため屋内待避が勧告された。

何が起こったのか、これだけでは見当が付かない。何かわかるだろう思って、原研へ出掛けた。そこで「臨界事故だそうです」と聞く。原研の構内放送では「村内で事故が起きたが、東海研究所内のモニターでは異常は検知されていない」と報じている。机上に置いてあった小型ＧＭ管のＳＷを入れた。平常のＢＧと変わりはない。負のフィードバックが働き、核分裂連鎖反応は直ちに収まり、大事には至らなかったのだと理解した。「指示は平常値に戻った」との村内放送とも辻褄が合う。

しかし、周辺のモニターの指示値が平常の１０倍ということは、影響が施設外に及んだことであり、「もんじゅ」のＮａ洩れ、東海再処理施設の火災爆発に比べ、極めて重大な原子力事故である。原子力事故を針小棒大に報じてきたマスコミが、今度はどんな報道をするのであろうか、ＴＶでじっくり見ようと思い、直ちに帰宅した。

夜に入っても依然として臨界が継続して居り、核分裂連鎖反応が続いていることを知った。処理しようとした核燃料溶液は、大洗の高速実験炉「常陽」に使用する１９％濃縮のもので、通常の軽水炉に使用される５％未満の濃縮度の燃料に比べて、極めて臨界になり易い。容易ならざる事態であることがわかってきた。

臨界から脱する手段として、溶液の入っている沈殿槽を取り巻いている冷却水の「水抜き」が行われると聞く。これによって水による中性子の反射と減速の効果が失われ、中性子の洩れが促進され減速が阻害される。さらに冷却の効果も失われて溶液が暖まり密度が低下して、これも中性子の洩れを促進する。これらは、全て連鎖反応を停止させる方向に働く。次いで

沈殿槽に中性子を吸収するホウ酸水を注入して臨界持続にとどめをさす。正に、万全の策が講じられた。

しかし１９％濃縮のウランが大きな塊となって沈殿すれば、それだけで臨界を持続することもあり得る。水抜きもホウ酸水注入も無効となる最悪の事態も考えられた。連鎖反応は持続し続け、核分裂生成物が蓄積、事態はますます深刻となり、沈殿槽を破壊し燃料の塊を四散させ臨界を止める。これしか方策がない事態に追い込まれるのではなかろうか？これに伴う核分裂生成物の大量放出ともなれば、東海村からの退去を余儀なくされよう。

１０月１日（金）　文字通り体を張っての関係者の必死の努力が功を奏し、早朝、「水抜き」は成功。さらにホウ酸水注入も行われ、連鎖反応は停止した。中性子が検出されなくなったと聞き、ピンチを脱したと思った。事故現場から周辺へ放出されていた中性子とγ線はなくなった。核分裂生成物の蓄積も少なくてすんだ。周辺の放射能汚染も大きくはなかろう。親類、知人からの「大丈夫か」の問い合わせにも「一旦はピンチに追い込まれたが、もう安心だ」と自信を持って答える。

しかし連鎖反応は、密閉不十分の状態でほぼ２０時間持続している。大量放出こそ免れたが、前日にモニターの指示値が平常の１０倍に達したことからして、放射能放出の影響は無視し得るものではなかろう。

昨日の午後３時から、村当局へのＪＣＯからの要請によって東海村長が判断し、事故現場から３５０ｍ以内に居住する住民の立ち退き（コミュニティセンターへの退避）が実施されていた。更に夜半から１０ｋｍ以内住民の屋内待避勧告が実施された。これは科技庁から県への助言による茨城県知事の判断である。

この１０ｋｍ以内住民の屋内待避措置は「やり過ぎだとの非難を受けても大事を取る」との政府対策本部の方針による。野坂官房長官がＴＶで直接国民にこの方針を伝えた。

早朝から交通機関はストップ。学校も会社も休みである。ＴＭＩ事故では、後に住民の退避は不要だったといわれたが、今回の「大事を取る」判断は正しいと思った。

午前中に村内全域のモニタリングポストのデータが村内放送で報じられた。全て毎時４から５マイクログレイの平常値に落ち着いたとのことである。放送を聞いていた娘が「グレイって何？」と聞いてきた。ＴＶ、新聞ともシーベルト一点張りの所へ突然のグレイの登場である。「グレイもシーベルトも同じだよ」と詳しい説明は省略した。平常値にしては数値が２桁大きい。古いレントゲン目盛りのメータを読み間違えて報道したに違いない。

午後に入って、有意な放射能汚染はないことが確認され、１０ｋｍ以内住民の屋内待避措置は解除された。幸いにして事故は大事には至らず収束した。

今にして思うと、住民の屋内待避措置が「やり過ぎ」だったことは、その時点で既にはっきりしていた。周辺に有意な放射能汚染はないことが確認されていたからである。屋内退避措置解除の際、これをはっきりと伝えなかったことが、後の風評被害（最大の実害）につながった。屋内待避措置解除の際に、その理由を丁寧に説明すべきだったのである。大きな反省点である（アンダーラインの部分は後から書き加えた）。

１０月２日（土）　「生徒は平常通り登校するように」と朝の村内放送があった。早朝のジョギングに出る。東海村も生気を取り戻した。通りすがりの知人と事故について語り合う。

近所の人にも聞いてみた。「これで原子力はダメになっちゃうね。この辺にも原子力の仕事をしている人は沢山いるけど、皆、困っちゃうだろうね」原研や旧動燃、原電のことを云っているのではない。ＪＣＯのように底辺を支えてきた諸企業のことを云っているのだ。車を預けた修理工場の人は「事故でヨウ素が出たとか云っているけど、これで原子力を止めるわけには行かないでしょう」と云う。

村民を対象に放射能汚染検査が実施された。妻と娘二人（次女と三女）が汚染検査に行くと云う。事故の経緯から見て、通常の検査で検出される汚染などある筈がない。「俺は行かないぞ。面倒なだけだ。止めとけ」と知ったかぶりの我を張った。娘は「対策本部の指示で会社を休んだのだから、その指示に従うのだ」と云った。娘の態度が正しく、我を張った自分の態度は誤りだと後に反省した。

汚染検査の様子がＴＶで報道された。ＺｎＳ、ＧＭ、ＮａＩの３種類のサーベーメーターで、α、β、γ線が測定されていた。予想通り、誰からも汚染は検出されなかった。

１０月３日（日）　朝からＴＶの討論番組は、ＪＣＯ事故の話題で持ちきりである。顔見知りが次々に画面に登場する。鶴見に住んでいる長女から「石川のおじちゃんがＴＶに出てるよ」と電話が入った。

推進と反対の両派が対立、平行線を辿るいつもの図式ではなかった。「機械は故障し、人は誤る」ことが改めて認識された。原子力は大勢の人の協力によって成し遂げられる巨大事業である。「この巨大事業を安全に運営する組織体制はいかにあるべきか」、「事業に携わる人に要求される資質と心構えの問題」がいろいろな形で論じられた。

「これからは、規制を厳しくし性悪説に立って現場を取り締まらねばならない」という意見が出た。私には一方的な極論に思えた。外国の格言「ある人を信用できない人にする最も確実な方法は、その人を信用しないことである」を思いだした。取り締まる人間が取り締まられる人間より「上等」であることを、どうやって保障するのだろうか？

１０月６日（水）　私自身も汚染検査に出掛けた。昭和４０年代に「放射能男街を歩く」と報道された事件を思いだしたからである。管理区域に入ろうとした人から、作業場に入る前に汚染が発見された事件である。

１万人を越える人に対し、一人一人の汚染検査を行い、一人の汚染者も居ないと確認されたことは、村内の全ての事業所の放射線管理が適正であることの貴重な実証データであり、被験者の一人に私を加える価値があると考えたからである。

検査員に意地悪な質問をしてみた。「掃除機で空気中のゴミを集め、手にこすり付けてきたら（ラドンの娘核種で）汚染ということになりませんか？」、「自動車のボンネットにゴミが付着してそうなることもあります。天然に存在する放射能であり、汚染ではないことを説明します」と自信に満ちた答えが返ってきた。頼もしさを感じた。検査員の中に顔見知りもいた。昔、私も一緒に野球を楽しんだ息子の友達だった。

後に全国の原子力発電所からも放射線管理員が集まり汚染検査等に協力したと聞いた。共通体験が契機となり、人的な横の繋がりが出来れば将来の貴重な財産となると思った。

１０月９から３０日　村内でいくつかの会合（村、労組、反対派等の主催）が開催された。

できるだけ多くの会合に出席した。雰囲気こそ異なったが、内容には驚くほど差がなかった。

どの会場でも、裏マニュアル、それすらも無視したＪＣＯの作業、それを見逃してしまった規制当局の責任、防災の初動体制の遅れ、情報伝達の不備等が厳しく指摘された。

安全審査において臨界が「想定外」とされたため、ＪＣＯ施設内には中性子測定器は皆無、事故発生時の唯一の中性子放出データは、原研那珂研究所の中性子モニターによるものであった。検出限界ぎりぎりの地点に偶然設置されていた高感度検出器が、幸運にも辛うじて中性子を捕捉したのである。

ソ連の秘密主義のため、チェルノブイリの大事故を全世界に知らしめた最初のデータが、スエーデンのモニターであったことを連想した。この秘密主義とアフガニスタンに対する無意味な戦争がソ連国民の前に明らかになり、強固な独裁体制は崩壊に向かう。

反対派の講師も、行政当局の不手際を非難こそしたが、放射能放出の影響については、針小棒大に危険性を煽り立てることはしなかった。

むしろ放射能の無害を強調した。「付近の民家にあった５円玉の放射能を、時間を掛けて精密に測定し、中性子の線量を割り出そうとしています。５円玉を集めに付近の農家にお願いにあがった際、収穫はしたものの売れないで困っている野菜が山積みされていたのを見て、譲って欲しいと申し上げた所、＜どうぞお持ち帰り下さい。お金は要りません＞と云われたので、会場の皆さんの分も貰って来て玄関に置きました。私も持ち帰って食べます」。自分も貰って帰り、家族と一緒に食べようと思って玄関に出て行ったが、時既に遅く、野菜は早い者勝ちに全て持ち帰られていた。

労組の集会では「ホイッスルブロワー法」について語られた。現場での危険性や上層部の不正の指摘を奨励する趣旨の制度である。チェルノブイリでも、東海再処理工場の火災爆発でも、今回のＪＣＯでも、現場に在って危険に感づいていた人は居たに違いない。

以前、「ホイッスルブロワー」を吹いた三人の女性が、英雄として米国の有名雑誌の表紙を飾ったことがあった。我が国でもプロ野球のドラフト制度に絡んだ不正から、実力者オーナーが次々に辞任に追い込まれた昨年の事件は、内部告発によるといわれている。大企業内の不正が暴かれた例も多い。問題は、企業の目先の利害が絡む場合である。告発者は英雄どころか「企業の方針を妨害する裏切り者」として放逐される。これを如何に乗り越えるかが「安全文化」の一つの課題である。

１１月２７日（土）　東京での放射線教育フォーラムの勉強会に出席した。

伏見先生から、昔の大先生がちょっとした不注意から、今で云うならば汚染事故を起こしてしまった実例が教訓として語られた。

事故当時の科学技術庁長官、文部大臣の有馬先生は「事故直後、私は性悪説に基づく規制強化を唱えたが、それを撤回する。大切な事は、現場で働く人達が誇りと責任感を持って仕事に取り組める環境作りである」と力説された。

１２月３日（金）　原研所内の金曜セミナーに出席した。ＪＣＯ臨界事故がテーマであり、事故時に何が起こったのかが、事故対策に取り組んだ専門家の講師から丁寧な説明があった。質疑と合わせて納得の行く内容であった。

１２月３０日（木）　沈殿槽からの冷却水の抜き取り作業など、関係者の文字通りの「体を張った」働きによって、持続していた連鎖反応は終焉し、放射性物質の周辺への大量放出は免れた。

水戸、日立を含め、近在の人達には、親類、知人に一人や二人の原子力関係者は居るはずであり、原子力の意義は理解されている。この事故をもって「原子力反対」を唱える雰囲気は殆どない。

しかし不安は生じている。事故を契機に原子力開発が先細りになって行くのではないか？「もんじゅ」、再処理工場の火災爆発、今回のＪＣＯと一連の事故をふりかえると、類似したパターンが繰り返されている。体制上の欠陥としての「共通原因」が未だ残されて居り、「想定外」の事故が別の形で将来も繰り返されるのではないか？また現場の近くに居た人達には、一般人の線量限度を超えて被爆したことの影響に対する不安もある。

これらが、原子力に期待をかけ信頼して来た人々の上に、重苦しくのしかかっている。

将来の展望を得るため、事故に至った直接、間接の要因を掘り下げて分析し、原子力のあり方を冷静に見直してみたいという想いが、私のように長年原子力に従事してきた者も含めて、住民一般に共通した考えだと思う。

原子力界にとって今回の事故は、正に「天与の防災訓練」だった。原子力が２１世紀以降にもエネルギー源として生き残るためには、乗り越えねばならない課題が多く残されていると感じた。

裁判傍聴

２００２年

２月１８日（月）　JCO 裁判を傍聴した。作業グループのリーダーで、作業者３人の内の唯一の生存者である横川さんの陳述があった。初めての傍聴という事もあって、強く印象に残った。

陳述は弁護士との質疑応答の形で進行した。以下に傍聴時のメモを要約する。

佐藤証人：昭和５４年入社、同じスペシャルクルーの一員であったが、事故当時は３人の作業者とは別の班で交代勤務に就いていた。

横川副長についての佐藤証人の証言：

横川副長（スペシャルクルーのリーダー）は面倒見がよく、皆の意見を良く聞いて積極的に仕事を進めていました。我々のクルーに課された仕事は多岐に亘っていました。横川リーダーは、廃棄物の焼却処理等、人の好まない仕事も率先して行う人で、自分の担当を遂行するだけでなく、部下の仕事を見て手伝って歩いていました。他のメンバーより余計に仕事をしていたと思います。

製品であるウラン溶液を均一化する作業は、以前はクロスブレンディングという方法で行っていました。いくつかの容器に分割されたウラン溶液を少しずつ混ぜ合わせる作業で、手間の掛かるものでした。作業中、ウラン溶液の入った缶の間隔は３０ｃｍ以上空ける規則になっていました。その規則の（臨界管理上の）意味について、私は理解していませんでした。恐らく横川リーダーも同様だったと思います。毎日の仕事に精一杯で、これに直接関係しない事柄を勉強する余裕など全くありませんでした。

私は３交代勤務の別の班でしたので、横川さんからは大筋の指示を受け、現場で判断して

仕事を進めていました。
佐藤証人の希望：横川さんは、今度の事件で散々ご苦労され、社会的制裁も十分に受けられたと思います。また自身も被爆され、むしろ事件の被害者と思います。亡くなった二人も横川さんを恨んではいないと思います。処分は寛大であるように希望します。

横川被告：事故当時スペシャルクルーのリーダー。３人の被爆者の内の唯一の生存者。住友金属鉱山で測量関係の仕事に長年従事。積極的に自ら工夫して仕事に取り組む姿勢を買われ、スペシャルクルーのリーダーに就任。
横川被告の陳述：事故に至った一連の作業について、前任者から引き継ぎを受けました。臨界についての話はなく、作業物質の取り扱いについてでした。

納入するウラン溶液の均一化の工程では、貯塔に仮配管を取り付けて溶液を循環させる方法（許可を受けていない）の説明を受けました。以前に行ったクロスブレンディングによる方法に比べ作業が容易だと思いました。

この作業での臨界管理は、形状管理ではなく、溶液の濃度による管理だと認識していました。事故の後、貯塔が形状管理の重要性が指摘されましたが、それ程重要なものであれば、前もって教えて置いて欲しかったと思いました。貯塔が細いのは、形状管理ではなく内部に収容する溶液の体積が小さいためだと思っていました。

貯塔を使用して均一化を行う場合、「抜き口が低く作業がしにくい」、「溶液に混合されない部分ができてしまう」欠点がありました。また、１０月７日に科学技術庁の視察が予定されていました。その時迄には、混合に使った仮配管（許可を受けていない）を貯塔から取り外して置かねばならないのです。これが作業を進める上での制約になっていました。

仮配管の取り付け作業に入ろうとした時、クルーの間から「溶液の混合均一化に沈殿槽を使ったらよいのではないか」との提案がありました。「抜き口の使い勝手もよく」、「撹拌機もあり溶液が完全に混合できる」ので、良い提案だと思いました。

溶液の濃度が低い事によって臨界管理されているのだから、アンモニアを加えて沈殿させない限り、安全上の問題はないと考えました。私達は沈殿槽よりもっと大きな容器に溶液を入れて扱ってきた経験がありました。取扱量の制限（通称、１バッチ縛り）は、沈殿させる場合に適用されるものと考えていました。沈殿させればウランが濃くなる部分が生じ、それを水溶液が取り囲む形となって臨界に達する恐れがあります。

また、沈殿槽の使用によって、溶液に不純物が混入する恐れも考えました。そのため、沈殿槽を使用する準備として、これを念入りに硝酸で洗浄しました。洗浄が完全に行われたことを確認してから、品質管理担当の竹村さん（核燃料取扱主任者の資格を持つ）に、「混合均一化工程に沈殿槽を使用したい」と申し出ました。製品の品質への影響が最も重要と考えたからです。

竹村さんからも「沈殿させないよう万全の注意を払って下さい」と指示がありました。バルブを閉め、さらに注入口にガムテープを巻き付け、溶液にアンモニアが入らないようにしました。これで臨界安全には万全を期したと思いました。

篠原（被爆により死亡）がバケツ状の容器から沈殿槽に溶液を注入、大内と私とが交代で漏斗の支持と溶液の準備をしました。最後の注入の前までは、私が漏斗を支持しました。最後の注入の前に、大内が「交代しましょう」と申し出たので、私は隣の部屋で作業データの

整理を始めました。

バシッと鞭で叩くような音がして青い光を感じました。アラームが鳴りだしました。咄嗟に臨界だと思いました。臨界事故については、聞いて知っていましたので、即座に理解しました。

作業室から二人が出てきて、ドアの所で一緒になりました。二人には出来るだけ早く待避するように云い、自分は沈殿槽と作業場の状況を点検しました。沈殿槽を２回覗きましたが、２回とも沈殿槽の内部は何事もなかったように静かでした。その後の対処に役立てるため状況を確認する事が大切だと思いました。既に被爆はしてしまったので、ここで慌てても仕方がないと思いました。

篠原は大内を介抱しながら待避しました。事務棟にたどり着いた時、篠原も気分が悪くなり、渡辺職場長が介抱していました。「臨界事故です」と報告しました。所長はワカッタワカッタと云ってくれましたが、周囲の人達は鵜呑みにはできなかったと思います。入院してから、付き添ってくれた加藤製造部長に事故の経過を報告しました。

２月２８日（木）　JCO 裁判を傍聴。

竹村被告：平成５年、住友金属鉱山入社。入社後６ヶ月してから品質保証を担当。

竹村被告の陳述：学生時代には主として、核分裂生成物の化学形態、被覆管の腐食、放射性廃棄物処理を勉強しましたが、臨界管理については勉強する機会がありませんでした。入社後、前任者から装置毎に臨界管理の方法について説明を受けました。

受け入れ材料と製品の双方に対し、ウランの含有率等を測定し、品質を確認していました。製品については、自主検査の後、立ち会い検査を行いました。

品質の影響する工程上の温度、時間等に注意を注いで居りました。沈殿工程に対して「１バッチ縛り」（2.4kg 以上を扱ってはならないという規則）の制限が課されていることについて、引き継ぎは受けましたが、何時もそれを念頭に置いた訳ではありません。

工程上の問題についての現場からの問い合わせは、職場長経由のこともありましたが、現場から直接のこともありました。私への問い合わせは、全てが品質関連であり、安全上の問題はありませんでした。

専ら品質に注意を払っていました。溶解工程（バケツを使用）につては、「以前と同じ方法でやります。」と報告を受けました。製品溶液の均一化に貯塔を使用することに対して、品質管理の面から検討しました。以前に行っていたクロスブレンド法による均一化は、現場を見る機会がありませんでしたので、作業内容を理解していませんでした。溶液を沈殿させる際の制限として、「１バッチ縛り」が課されていると理解していました。

平成７年に核燃料取り扱い主任者の資格を取得しました。試験勉強の際、過去の問題を解きましたが、臨界安全関係は出題例が少なく、重要項目ではないと思いました。

今から考えれば、全施設について臨界管理の方法を理解して置き、濃縮度等の違いを認識した上で、臨界安全への配慮をすべきであったと考えます。現場の人と一緒に、臨界安全について勉強会を開き確認して置くことは、私の提案でも出来た事だと反省しています。

９月に入って作業が始まりました。中間製品の分析結果の報告を受けて居り、作業の進捗状況は把握していました。９月３０日に最終製品のサンプルが出る予定でした。

９月２９日、作業リーダーの横川さんとの打ち合わせがありました。その時、「均一化作

業に沈殿槽を使用したい」との提案を受けました。これをしないと、９月３０日に予定された最終製品のサンプル供出に間に合わないとの事でした。「沈殿槽の洗浄は終了した」との報告も受けました。沈殿槽使用の是非については、即答はしませんでした。品質への影響を慎重に考える必要が感じられたからです。

考えた末、現場の意向を尊重すべき事、サンプル提出の期限を守るべき事、また品質の問題への影響もあり得ないとの判断から、横川さんの提案に同意し、電話でその事を知らせました。万一、溶液の沈殿が起こると臨界事故になる恐れがあると考え、アンモニアのバルブが開かないように万全を期して欲しいと伝えました。また、万一沈殿が生じても、攪拌機を使って溶液を均一に薄めれば、臨界は防げると考えました。

２００３年

３月３日（月）　水戸地裁の判決が下った。控訴はなく判決は次の通り確定した。

JCO（会社）：罰金１００万円。

越島建三（５６才）東海事業所長：禁固３年、執行猶予５年、罰金５０万円。

保安規定上の安全主管者であったが、作業における許可内容遵守の指示・監督、及び臨界管理方法の周知を怠った。

加藤裕正（６３才）製造部長：禁固３年、執行猶予４年。

保安規定上の製造管理統括者及び労働安全衛生法上の安全管理者であったが、作業における許可内容遵守の指示・監督、及び臨界管理方法の周知を怠った。

小川弘之（４５才）計画グループ長：禁固２年、執行猶予３年。

核燃料取扱主任者であったが、作業における許可内容遵守の指示・監督、及び臨界管理方法の周知を怠り、また、上司に対し、臨界事故発生防止のための意見具申をしなかった。

渡辺　弘（５１才）職場長：禁固２年、執行猶予３年。

製造グループの職場長であったが、作業者に対し、臨界管理方法を遵守した作業方法の指示・監督を行わなかった。

竹村健司（３４才）計画グループ主任：禁固２年６ヶ月、執行猶予４年。

被告人横川から、混合均一化作業において、貯塔に代え沈殿槽使用の承認を求められた際に、臨界発生の危険性を見過ごして承認を与えた。

横川　豊（５８才）副長：禁固２年、執行猶予３年。

手順書を理解し、経験者への問い合わせによって、作業における臨界管理の方法を確認することを怠り、作業者に対し、臨界管理遵守の指示を与えず、沈殿槽内に７バッチ分の硝酸ウラニル溶液注入を指示した。

量刑の理由：臨界事故の結果は極めて重大であったが、長年に亘るずさんな安全管理体制下に発生したものであり、各被告人のみが事故発生に寄与したものではない。重い刑をもって被告人の責任を問うことは、事故の実態を反映することにはならない。以上の事情から、会社に対しては法の許す限りの最高の刑罰が科すが、各被告人については禁固刑の執行を猶予することとした。

ＪＣＯ事故現場保存問題の経緯（私見を交えて）

２００３年

３月３日、刑事裁判の判決が下る。同年４月１８日、ＪＣＯがウラン再転換事業再開断念を発表。４月２４日、県原子力対策課主催の各事業所年間事業計画説明会にて、ＪＣＯが旧転換試験棟の設備（臨界事故施設）の撤去について言及。８月２１日、事故証拠品保全義務が解除される。８月２９日、それを受けて、ＪＣＯが文部科学省に施設の撤去工事計画を申請した。

９月に入って、東海村での動きが始まる。村長が施設撤去に対して「待った」をかけた。原子力界にとって、将来、臨界事故から多くの教訓を学ぶべきとの立場からである。

１２月、村議会は施設撤去を決議し任期を終了したが、議事録を調べた所、ほぼ全ての会派と個人（無会派の人）は、「将来のために教訓を残すべき」との意見を表明している。

２００４年

６月２５日、経済産業省と文部科学省から「設備の撤去と模型の作製・展示」の提案があった。「将来のために教訓を残すべき」との考えに基づくものである。７月の臨時村議会でこの提案は承認された。

９月２日、住民への報告会が開催された。任意参加だったので私も参加した。

村長の挨拶：強い関心を持つ方々のお集まりをいただき心強く思う。間もなく事故が起きてから５年を迎える。私としては村民の安全を考える立場から、原子力に携わる人達の姿勢を見せて欲しいとの思いで、各方面の原子力関係者に問いかけてきた。

この問題は、現場の近くに住む東海村民に最も強くかかわる問題であるが、一方、東海村だけの問題ではなく、原子力界全体にかかわる問題でもある。また全世界の注目を集める問題でもある。

村民の意向をアンケート等によって聴取し、原子力界にも働きかけた。この努力を１年間続け、ここのところ方向性を持った雰囲気が出てきたので、今日はそれをお話したい。

私の考えは、２００４年８月３１日付の茨城新聞に寄稿した。以下に引用。

ＪＣＯ臨界事故始末記　　悲しく貧しい精神

茨城新聞への寄稿　　東海村長　村上達也

昭和の戦争でもそうだが、日本人は自分に都合の悪い事実は忘れ去ろうとする。決して教訓や、戒めの遺産として残そうとはしない。

ＪＣＯ臨界事故が起きて今年の９月３０日で５年になる。事故によって大内久さん、篠原理人さんの二人が広島爆心地の数倍の放射線を浴びて犠牲となった。低線量だが周辺住民、従業員ら一千人もの人が被ばくをした。風評によって地域産業は大きな損害を受けた。そして２０数時間に及ぶ臨界継続の間、周辺１０キロ圏内の３０万の住民は一睡もせずに「見えない恐怖」を味わった。

後の調査で分かったことは、あの時、核分裂したウランの量はたったの１ミリグラムだったとか。原子力の威力の凄まじさ、怖さを心底から思い知らされた。核と共存していかねばならない人類とは、なんと因果な生き物だろうか。ましてやわずか縦横６キロメートルの狭

い地域に１３もの原子力事業所と軒を接し生活している３万５千人余の東海村民は、なんと言っていいだろう。国策と称し原子力政策を推進している政府や原子力関連の事業者・学会は一様に私たち住民に「安全第一」と言っているが、その言に魂がこもっているのだろうか。政策推進の眼くらましでなければいいが・・・。

それを疑わせる事態が、事故の起きた現場の解体、撤去をめぐって起きている。否、今となっては起こったと過去形で言うべきか。この問題をめぐっては政府も原子力事業者・学会も「われ関せず」を決め込み、なんら主体的に発言し行動しようとはしなかった。少し煩雑にわたるが、事の推移を示せば次のとおりである。

ＪＣＯは刑事裁判の終結により、返還された事故現場の施設を解体、撤去し、核廃棄物として保管する申請を許可官庁である文部科学省に対し昨年８月に行った。これに対し私は即刻待ったを掛け、次いで文部科学省、原子力委員会、原子力安全委員会、原子力産業会議、電気事業者連合会を訪問し、原子力事故の重要性にかんがみ、当該施設を後世への教訓、歴史的遺産として現場にそのまま保存するよう訴えてきた。

しかし、これらの機関からはなしのつぶて、なんら回答が得られなかった。この間、村の議会は急遽特別調査委員会を設置し、早々に模型の展示もモニュメント設置もダメ、ましてや現物の保存は絶対ダメと全否定の一方的決議を行った。臨界事故の一切の記憶を東海村から消し去ろうとするがごとくに。

最近に至って経済産業省から解体撤去と引き換えに模型展示の提案が出され、議会と村長の対立を理由に消極的だった文部科学省もこれに乗り、今となっては模型展示の方向に進んでいる。原子力界からの反応ゼロの状況下、矢つき刀折れの寂しい心境である。

原子力推進を国策と言い科学技術立国を標榜する国、国民の見識、その目先しか考え及ばない精神の貧困に慨嘆する他ない。残された道は解体、撤去するにせよ後世の人への教訓を伝える方法を探るだけ、「人間は間違える動物なのだと」と。（引用終わり）

「訴える力で現物に勝る物はない」と考えてきた。しかし、昨年末、村議会からは事故施設の保存については「現物保存はダメ、模型もダメ、モニュメントもダメ」という結論が出てきた。今年の６月になって、経済産業省と文部科学省から模型展示の提案があった。私はこれを受け入れ、７月の臨時村議会でもこれを受け入れることになり、一歩前進した。

しかし、我が国乃至は世界における原子力開発史上における臨界事故の意味を考えると、今の我々だけの判断で決めるのではなく、時間軸を長くとって考える必要を感じる。

水爆実験による第５福竜丸の被ばくは昭和２９年に起きたが、１４年後の昭和４３年に至って、やっとその保存が決まった。昨日、広島大の先生方と懇談する機会があったが、広島の原爆ドームの保存が持ち上がったのは、昭和２５年である。それまでは、早く撤去して欲しいという意見が圧倒的であったことを始めて聞いた。

現物を現地で保存することは、未だ東海村の与論として固まってはいない。アンケートを見ても、何らかの意味での保存が４１％、撤去が３７％で、意見は分かれている。昨年暮れには村議会の完全撤去の議決もある。国や原子力界へも働きかけたが、積極的な提案は帰ってこなかった。一方、元原子力委員や元原子力安全委員の先生方からは「保存すべきだ」という意見が少なからず聞かれた。

現時点での方向性として、撤去はする。放射性廃棄物として管理はするが、後世、復元で

きる方法を考えたい。この方向でＪＣＯとも協議して、具体的方法を考えて行く積もりである。

私がここで表明したことは、全てが結論ではない。ここに来て居られる皆様からもご意見をいただきたい。**（村長の挨拶終わり）**

議員からの説明：昨年１２月の改選前の議会では、我々の会派からは模型の展示を提案したが否決された。互いに他の会派からの提案を否決し合った結果、ＪＣＯの施設撤去計画の受け入れのみが意見の一致点となり、結論として「現物保存はダメ、模型もダメ、モニュメントもダメ」という「結論」になった。

今年の７月の村議会では、経済産業省と文部科学省からの模型展示の提案を受け入れた。

住民からの質問・意見：「放射性廃棄物として設備をドラム缶に入れたら、それで「終わり」になるのではないか」

「私は現物保存の考えを持っている。今回、村長が示した方向については残念に思う。解体の仕方であるが、提案のように沈殿槽の各部品まで分割すると復元しにくくなるのではないか。復元しやすい方法をＪＣＯと話し合って欲しい」

「沈殿槽等を分割せずに保管できないか。大きな容器に入れれば何時でも取り出せる」

「沈殿槽のみの展示なら必要がない。貯塔を使うべき所に沈殿槽を使ったことが臨界事故につながったのであるから、将来の若い世代の人達は、沈殿槽だけを見ても事故の意味を理解できない」

「村民の中に転換試験棟内部を見たいという希望がある」

「設備の展示だけでなく、臨界データ、裁判記録などを展示することも重要である。本当に語り継ぐのであれば、そういう付帯的な資料の収集も必要である」

「現場を見せて貰ったが、設備の配置と現場の空間が大切だと思った。あの狭い空間であの作業を強いられたら、あのようにせざるを得なかったと思う。模型展示であっても現場空間の持つ雰囲気が再現できるものにして欲しい」

任意参加のため、原子力に対して高い関心を持つ人達が集まったこともあって、もっともな意見が次々に表明された。「嫌な事は忘れたい」という感情や、「事故の記憶は原子力推進の邪魔になる」といった誤った認識は、誰からも表明されなかった。

９月末、臨界事故５周年を記念して、方々で集会が行われた。いくつかの集会に出席した。設備保存を決議文の形で明確に表明した団体もあった。どの集会でも「将来への教訓のための設備保存」を訴える声が出た。

１１月２２日、東海村主催で、畑村洋太郎先生の「失敗学」の講演があった。聴衆からＪＣＯ事故現場の保存について質問が出た。先生からは「模型の展示では、後世の人達に事故の教訓は伝えられない。現場を保存すべきである。自由に意見の云える立場の原子力関係者にとって、現場保存を主張することは後世への義務である。我々は既に高い月謝を払ったのであるから、教訓を財産とすべきである。」と、明快な答えが返ってきた。

１２月１２日、ＪＣＯ事故現場の見学会に参加した。一般村民が参加できる始めての機会であった。正に「百聞は一見に如かず」であり、畑村先生の言葉の意味が改めて理解できた。

現場保存の考えは少しずつ理解されつつある。民主主義は時間がかかる。一時の感情に流されることなく、粘り強い議論を積み上げ、悔いのない結論に至るべきである。

来年は戦後６０年である。そろそろ民主主義について考え直す時期が来たと思う。事故現場保存問題は民主主義のありかたを再考する天与の機会でもある。

参考のため、代表的な村民の意見を以下に引用する。

ＪＣＯ臨界事故現場撤去に思う（村民の代表的な意見）

１２月１６日、日経紙面において、東海村長の「いつまでも（撤去についての結論を）引き延ばすことはできない。」という云葉を目にした時、村長の苦悩を感じるとともに、云いようのない焦りを覚えた。

５年前村民は震え、世界を驚かせたＪＣＯの臨界事故、その施設が今にも撤去されようとしている。事故直後は、現場近くに住むひとの心のダメージを思うと、撤去した方が良いのかと考えた。しかし、月日がたち、たくさんの情報を得て、自分の中で事故を整理して考えられるようになると、「ここから学ばねば・・・」という思いが大きくなった。

１１月に村内で開かれた「失敗学のすすめ」という畑村洋太郎先生の講演を聴いて、その思いは更に強くなった。撤去すれば「汚点」、保存すれば「財産」になると思った。

１２月中旬、村主催の現場見学会に友人と参加した。整然とした大きな敷地、人気のない構内だった。２つの関門を通ってそれほどの緊張感もないままに事故現場へと入っていった。「Ａさんは左足を・・・右足を・・・バケツで・・・」ＪＣＯの職員から説明が始まった。途端に、緊張感が体中を走り、「こんなところで・・・なぜ？」と、あまりの臨場感に息苦しさをおぼえた。「被爆量は距離の２乗に反比例」習ったとおりだ。たった１～１．５ｍの距離の差が生死を分けた。生々しかった。

平和利用の原子力は私達の生活を豊かにしてくれている。その功績は大きい。しかし、諸刃の剣であることを忘れてはいけない。起こるはずのない施設で事故は起きた。日本の東海村にあるＪＣＯで事故は起きた。町工場のような現場だが、ここから学べる教訓はたくさんある。原子力と共存する東海村民として、また、人類に役立つ研究施設を有する村の住民として、誇り高くこの現場から学びたい。

村議会において、撤去は決まっている。しかし、もう一度考えていただきたい。レプリカでは、真の重みは伝わらないと思う。災いは忘れた頃にやってくる。子供達のためにも風化させてはいけないと強く思う。

追記：この原稿を一旦書き上げた時（２００５年１月３１日）、東海村長が、将来復元可能な条件でＪＣＯの施設撤去計画を承認したことがＴＶで報じられた

現在、東海村は国の「電源立地推進調整等委託金」５千万円と、村の予算約１５７万円を用いて、事故を起こした設備の模型を作成し展示する計画を進めている。今年の３月末までに展示場所を決め、事故のあった９月３０日に披露する予定である。

展示場所としては、県の原子力科学館（国道２４５線を隔てて日本原子力研究所の向かいにある）が候補に挙がっている。**(完)**

「放射線教育」Radiation Education
Vol. 8 No. 1, p. 77 - 82 (2004)

湯川秀樹著『存在の理法』における湯川秀樹の哲学観

伊藤政幸
早稲田大学理工学総合研究センター
〒187-0042 小平市仲町 245-26（自宅）
(2005 年 3 月 12 日　受理)

［要約］　近年の民主主義社会においては、いろいろな価値観をもって生きることができる。しかし、この多様性の中にも学問あるいは生活の場において確実性の高い価値観を求める動きもある。本稿で述べる湯川秀樹の哲学観は、学問の分野で確実なものを作り上げてゆく上で参考になると考えられるので、その哲学観について主要な主張点を解説する。

「物理学は、化学、生物学と同様の個別の科学であり、学問体系を統合する科学ではない。自然科学の本質的な進歩は、意外な経験事実の発見に始まる」。さらに、自然科学的認識の二重性について触れ、「自然を知るという場合に物理学者は特別の装置を使って知ろうとする、このことは対象に対してある能動的な作用をも伴うことになる」と述べる。これらの主張は、現代哲学のひとつである現象学に近いところがあるので、その点についても解説を加える。

1.　著作の背景

本書 [1] は、哲学的記述を意図しておらず、あくまでも物理学者が、物理学に携わる、あるいは関わる人々を対象に物理学が直面している諸問題を中心に解説したものである。

本書の初版は昭和 18 年（1943）であり、内容は昭和 14 年ころからの湯川自身の諸著作をまとめなおしたものである。湯川が 1935 年に新粒子としてその性質を予測した中間子は、1937 年に宇宙線から発見され、彼の研究成果が高く評価されはじめた時期の著作である。

この書の内容は、湯川の世界観を、物理学的記述を通して世に著わしたものである。

限られた事物を観察、あるいは思考の対象において事物相互の相関性と、そこにおいて限られた範囲内でしか成立しない因果性を論じて科学的論文を書き続ける研究者には到達し得ない哲学観に満ちたものである。

なお、著作は旧かな遣い、旧漢字で記されているが、引用に際してはワープロの使い勝手から、現代漢字になおした。この著書で使用されている用語は、物理学、科学、当時の日常生活における日本語（文語的表現が多い）である。そのため、たとえば、反省という語はヘーゲルがよく使用した Reflexion の和訳 [2] ではなく、日用語の反省という意味で使用されている。還元についても哲学用語、特に現象学的還元という概念ではなく、物理学的あるいは、日常的な意味合いで使用されている。化学の分野で使用される還元反応の還元 [3] という意味とも異なる。

2.　湯川秀樹の哲学観

以下に湯川の哲学観を項目に分けて述べる。

2.1　物理学は個別科学であることの確認

「自然科学の諸部門は各々の立場から、一つの世界を構成することを試みる。物理学もいわ

ば一つの物理学的世界がある。それは固より自然の全体をおおい尽くすものではない。科学には常に未知の物が残されているのである。かりに又科学が自然の全貌を明らかにし得たとしても、それが唯一つの世界であるとはいえないであろう。現実は単なる自然ではない。ただ現実の背景としていつも自然的な世界が予想されていることだけは、確かである。自然は常に.現実の背後にあって、これに広範な可能性を供与すると共に、現実に対する強い制約ともなっているのである」[4]。

物理学が個別科学であることは自明であるとほとんどの人は考えているが、なお物理学者の中には、要素還元論を基に高性能コンピュータを用いれば人の感情の変化をも物理現象として解析記述できる、すなわち物理学を普遍的科学と思い込んでいる人もいる。

また、素粒子研究者の中には素粒子を研究する研究態度（方法論）が科学における普遍的方法論であると思い込む人もいる[5]。しかし湯川は、物理学はあくまでも物理学的世界、（化学的、生物学的世界でもなく）に係わっていることを明確に主張している。

2.2 物理学の基本性

「自然的世界は現実そのものでないと考えられるにも拘らず、自然科学自身は常に最も現実的な力であり得るのである。物理学はあらゆる科学の中で、最も基礎的な地位を占めている。したがって物理学的世界が今なお、自然の全部を意味し得ないにしても、自然的な世界の中核を形成していることは確かであろう。そして、それが一見どんなに抽象的な、現実離れしたものに見えようとも、そこにこそ科学の最も大きな力が蔵されていることを思わねばならぬ。

しからば、物理学的世界とは何であるか。それは決して一つの固定した世界ではない。物理学の進歩に伴って、その対象となる世界の相貌も幾変転を重ね来たったのである。それは現実の強制を契機とする、人間の新たなる思考形式の獲得を意味するものであった。そしてそれは新しい理論体系の成立によって先行されるのを常としていた」[6]。

物理学が科学の中で最も基礎的と主張しているが、最も役に立つとはいっていない事に注目する必要がある。役に立つか否かの評価は、物理学的考察ではできないことを理解していることに注目したい。

2.3 自然科学の進歩

「自然科学のある分科の本質的な進歩は、常にその領域における意外なる経験事実の発見に始まる。意外な事実とは、その分科においてすでに存在し、当然その事実に適用さるべく期待された理論体系からの帰結が、その事実と矛盾することを意味する。」[7]

ここでは、自然科学の本質的な進歩の契機が述べられており、自然科学の進歩の定義を述べているのではない。ここで述べられていることが、前節の「現実の強制」である。湯川にとっては、新しい思考形式の獲得が、自然科学における進歩なのである。

自然科学における進歩のプロセスの多くは、以下の３段階に分けることがでる。

1) 今までの理論体系では説明できない新たな事実の発見。
2) 新たに発見された事実を説明できる理論体系の構築。
3) 新たに構築された理論体系を他の人に伝達できるシステムの完成。

ここで、新たに構築された理論体系を伝達できるシステムの完成が、湯川のいう人間の新たなる思考形式の獲得、と考えることができよう。また、哲学における進歩も人間の新たなる思考方式の獲得のことである。ある思考方式が政治権力と結びついてその思考形式を思考形式

の完成型とみなして、政治への応用がなされるようになると、中世ヨーロッパのキリスト教、シナにおける朱子学、ソ連における唯物論のように、基本的思考方式の進歩が阻害されることになる。前節に述べられている「しからば、物理学的世界とは何であるか。それは決して一つの固定した世界ではない。」[6] の物理学を哲学と置き換えて見れば、ここにも湯川の哲学観を見ることができる。

2.4 古典論的世界に対する認識

「物理学の第一の目標は、できるだけ広範囲にわたる自然現象を、出来るだけ簡単且つ正確に、そして出来るだけ客観的に記述することにある。この目的のためには、自然界に起こる諸現象の間に存在する性質的な相違を出来うるかぎり数量的な差異に帰着せしめることが必要であった。例えば赤とか、青とか、黄とかいう色の間の性質の相違は、それらの色に対応する光の波長の差異によると考えることによって、記述が簡単になり、より客観的になることは明らかである。色がもつ感覚的な要素にのみ拘泥するかぎり、各人の感覚に依存する主観性等を免れることは出来ない。光の波長なる概念が導入されることによってこれらの欠点が取り除かれるのみならず、肉眼で見えない光、例えば赤外線や紫外線、さらにエックス線などが、すべて同じ電磁波の差異に帰着されるのである。そしてそれらは全て、連続てきに異なる波長の無限に異なる波長の無限に多様な電磁波の波長の差異に帰着せらるのである。そしてそれらは全て、連続的に異なる波長の無限に多様な電磁波の中の特殊なものにすぎないことが明らかになるのである。かくして性質から数量へ、個別的な数値から連続的な数量への進展によって、広範囲の現象を同様な仕方で記述しようという目標にも同時に到達しうるのである」。[8]

色に関して、電磁波の波長を用いて記述することは、ヘーゲルによれば、「悟性が、そもそも固定化し、制限することのできないものを制限し固定化することによって「産出」したことになる。」[9] 古典的科学は、この「産出」を繰り返しながら弁証法的論理でその時々（時代）の世界観を作り上げてきた。上に述べた湯川の認識は自然科学に対する唯物論的解釈と一致する。但し、湯川は、量子論と相対論（アインシュタインの相対性理論）以後の自然科学については、一般的に唯物論として認識されている考えとは別の見方を持つ事を次の節でふれる。

2.5 相対論的世界の認識

「古典論的世界の特徴は、その連続性と因果性にあると説く学者もある。近代における物理学の発達はかかる世界観の妥当性に対する深刻な反省を喚起した。その中でまず問題にすべきは絶対性である。古典論的世界が絶対性を有するとは、それがいかなる観察者によっていかなる方法によって知られるかということに無関係な、いわば絶対的な存在であることを意味する。相対論の出現によってかかる見解を放棄せざるを得なくなったことは周知の通りである。」[10]

ここで相対論とはアインシュタインの相対性理論のことである。

相対論は、唯物論を超えて「自然科学の本質的な進歩の契機」[7] となった。

「かくして時間及び空間の各々は最早観察者の運動状態に独立な、一即ち絶対的な一存在を保ち得ないことになった。」[10]

湯川は、相対論を賛美しているわけではないが物理学者の多くが唯物論の世界にとどまりやすい中で、あるいはアインシュタインに嫉妬心を持ちやすい中で、相対性理論を的確に評価している。

2.6　自然科学的認識の二重性

「二重性というのは、一つはつまり従来から考えられておったような客観性である。客観的なもの、法則性をもったもの、例えば因果律のごときものをどこまでも成立するものと認めてゆこうとする態度が一方にある。そういうものが現在ぜんぜん失われているわけではない。自然現象というものは非常に厳密な法則にしたがって起こっているという考え方には今も変わりはない。しかしそれと同時に抽象的に知るということだけでなしに、実際どういう風にして知るかということを問題にしないわけにはいかない。

自然を知るという場合、物理学者は何か特別の装置を使って知ろうとする。そのために色々な手段を用いる。そのために知られるべき対象が必ず何らかの影響を受ける。そういうことから知るということが簡単なる受身でなしに、対象に対するある能動的な作用をも伴うことになる。

だからわれわれが極端な実証論的な立場から見て、自然に影響をおよぼしつつわれわれが獲得する知識、それより他には何もないと考えると結局不可知論になってしまう。存在とは何か法則性はどこにあるのかを追求できなくなる。直接実験によって知られるものをもっと普遍化し、かつ客観化したようなものーを考えないと、自然の厳密な法則性が記述できないということになる。併し、そうかといって、実験によって直接知られるものを離れてしまうことは出来ない。どうしてもそこに両面性が残ることになる。そんならこの両面性をどう解釈すればよいか、どんな風に結びつけるか。これに関する一つの考え方を述べてみよう。一つ一つの実験操作によって知られる面、これを仮に現実の面と呼ぶことにすると、それに対して云わば「向こう側」にあって、客観性をもった物の世界が考えられるが、それはつまり可能の面であるといえる。この両面が確率の概念によって結びつけられている。」[11]

２つの面が確率によって結びつけられているという考えは、現代物理学固有の考えであろうか。別な分野における一例を考えてみる。ある個人が生存を続けている現実の面と、客観性をもった人間の生存率（平均寿命と考えても良い）とを結びつけるのも確率である。平均寿命が８５歳という客観的事実に対して、ある個人が何歳まで生きるかということの間には確率的関係があることが理解できるであろう。

2.7　学問体系の自己完結性の批判

「もう一度ふりかえって 19 世紀的な物理学、所謂古典物理学というものを見ると、数学と同じように自分自身で完成している。他のものと矛盾していてもしていなくても問題にならない。宗教、芸術、歴史というようなものを顧みる必要はない。また閉じてしまっているからそんなものは入る余地がない。われわれは努めて学問を開いておかなければならない。」[12]

これは当然のことだ、と一般に受け入れられるはずであるが、問題は物理学者の方にある。2.1 に示したように物理学を普遍学と信じている人は物理学を極めれば、あるいは物理学における方法を適用すれば、全ての問題は解決できると思い込みやすい。これに対する警告なのである。

2.8　学説の変更あるいは転換について

ここでは、甲と乙とによる対話形式で議論が進められる。
指導的理論物理学者であるデラックとハイゼンベルクが自己の考え方を変えることに対する意見を取り上げて、

「甲　そういう考えの深い人たちの意見が変わりやすいということは不思議に感ぜられますが。乙　平生深く考えておればこそ、思想に変化―必ずしも進歩ばかりとはいへないかもしれませんが―が現れるのではありませんか。」[13)]

湯川がこの文を付け加えたのには意味深いものがある。宗教家（教祖）の言動や行動が信者以外の人からみて矛盾していたり、年代によって変わったりしても、信者にとっては一貫したものとして認識（信心）する。この点、物理学者や哲学者は意見が変わったことを読者（研究者）は確実に認識する。また、物理学者は自分の研究成果そのものをも物理学における一つの成果として、さらにその先の成果を求めるべきで、その結果が前の成果と異なることを恐れるなということであろう。この態度は、哲学者の態度と同じである。

2.9　志向性

さて、湯川秀樹の一冊の著作から湯川の哲学観を読み取ろうとしてきた。湯川の哲学は湯川の哲学である。ガンジーの「人が 100 人いれば 100 の神が存在してもおかしくはない。」を言い直せば、人が一人いれば、一つの哲学が存在することになる。

しかし、あえて湯川の哲学と既存の哲学体系との重ね合わせを試みる。一部の内容は先に引用したが、注を付け加えて説明する。

「自然を知るという場合、物理学者は何か特別の装置を使って知ろうとする。そのためにいろいろな手段を用いる。どんな手段をもちいるにしても、そのために知られるべき対象が必ず何らかの影響を受ける。これはどうしても動かすことのできない事実である。どうしても回避できない。そういふことから知るということが単なる受身でなしに、対象に対するある能動的な作用(a)を伴うことになる。実験によって直接知られたものをもっと普遍化し、かつ普遍化したようなものを離れてしまうことはできない。

一々の実験操作によって知られる面、これを仮に現実の面と呼ぶことにすると、それに対していわば「向こう側」にあって、客観性をもった者の世界が考えられるが、それはつまり可能性の面(b)であるといえる。」[11)]

ここにおいて、(a) は「志向性」の具体的表れとみなす事ができる（b）は単なる客観性ではなく、可能性の面はすなわち、主観を刺激して行動を起こさせる原因となる。

以上、湯川の哲学は現象学運動を参照しながら著作を読みすすめると理解が深まると考える。

終わりに

放射線に対する多様な価値観あるいはイメージの存在は、放射線に関する科学的知識の欠如のためであるというだけでは説明がつかないと私（伊藤）は考える。放射線の効果に対して湯川の言う「自然科学認識の二重性」を考える必要がある。さらに、放射線に関する科学を湯川の「学問体系の自己完結性の批判」の物理学と入れ替えてみると、放射線科学を宗教、芸術、歴史との接点をも考慮することが、放射線に係わる諸問題を理解するのに重要であることがわかるであろう。

文献および注釈

1)　湯川秀樹『存在の理法』岩波書店（1943）

2)　ヘーゲルが良く使用する言葉である Reflexion の和訳として反省の語が用いられる。

和訳で、この語を使用することについて高山守は次のように述べている。『ヘーゲル哲学

と無の論理』東京大学出版会　(2001) p317

「こうした「反射」(「反映」)、「帰還」、「思考」といった意味を担う“Reflexion”という語を、一語で訳し出すのは困難である。このことを踏まえたうえで、ここではこれまでの習慣に従いつつ、「反省」という訳語を当てておきたい。すなわち、「反省」という語に、次のような意味合いを込めうるものとしたいのである。つまり、「反省」とは、自己自身(「本質」)を「映し出す」「仮象」が、自己自身(「本質」)へと「立ち返る」「運動」であり、またそうした「運動」を遂行する、もしくは、そうした「運動」として「本質」を把握する「思考」である、と。」

逆にこの Reflexion を物理学の分野でどのように理解したらよいであろうか。単純に述べれば、投影して観察する、ということになろう。“Reflexion”は本稿 2.6 節で述べた「自然科学認識の二重性」と係わる概念であろう。

3) 化学においては、酸化の反対の意味で使用される。もともとは、酸化された物質から酸素を取り除く反応を還元反応、あるいは還元といった。還元反応と同様に電子が動く場合にも還元ということがある。

4) 湯川秀樹『存在の理法』岩波書店 (1943) p113

5) 本間三郎『素粒子 (別冊・数理科学)』サイエンス社 (1998) p8

ここで、本間はワインバーグの意見を批判した後次のように述べている。「素粒子の実験と理論の研究で、われわれが取り組まなければならない本当の仕事とは、素粒子とその表を拡充することではない。それは、素粒子、原子核、原子、岩、星、というように組み立てられている自然がなぜそのようになっているかを解明し、それを記述する自然の基本原理を理解することなのである。

われわれの経験の全ては、素粒子の研究こそ、現在のところ、自然の基本的な法則を知る最も良い方法であり、おそらく唯一の方法であることを教えている。」

しかし、自然には化学反応も、生物の営みも含まれるので、それらの基本的な法則を知ることが素粒子の研究によって達成できるならば、素粒子の研究者が他の分野で業績を上げられることになるが、現実にはそのようなことはない。湯川が、物理学が個別の科学であることを明言しているのは、優れた洞察力によるものである。

6) 湯川秀樹『存在の理法』岩波書店 (1943) p114

7) 湯川秀樹『存在の理法』岩波書店 (1943) p117

8) 湯川秀樹『存在の理法』岩波書店 (1943) p117

9) 高山守『ヘーゲル哲学と無の論理』東京大学出版会　(2001) p30

10) 湯川秀樹『存在の理法』岩波書店 (1943) p120

11) 湯川秀樹『存在の理法』岩波書店 (1943) p144

12) 湯川秀樹『存在の理法』岩波書店 (1943) p156

13) 湯川秀樹『存在の理法』岩波書店 (1943) p46

「放射線教育」Radiation Education
Vol. 8 No. 1, p. 83 - 94 (2004)

放射線は日本社会でどのように怖がられているか

田中　隆一
理論放射線研究所
〒227-0054 横浜市青葉区しらとり台 120-5
(2005 年 3 月 19 日　受理)

[要約]　日本社会における放射線や原子力に対する恐怖心・不安感は、一般には原爆被災に起因すると言われています。ただし、今日の大多数の日本人がもつ恐怖心・不安感は被災に関する間接的なコミュニケーションを通して社会的に形成され，共有されているものであり、媒介となる社会意識やその背後にある伝統・文化によって影響されています。本報告では、この伝統・文化の影響に焦点を当て、放射線が日本社会でどのように怖がられているかについて述べさせていただきます。

1．放射線に対する不安感・恐怖感は社会的に広く共有されている

放射線や原子力についての正しい事実や事象の理解を広く普及していく上での大きな障害として、放射線に対する否定的な感情反応がわが国の社会では強いことがしばしば指摘されます。この感情反応は一般には放射線や原子力についての恐怖感に始まり、嫌悪感あるいは拒絶感のような強い反感へと深まる場合もあります。また、恐怖感には到らない場合でも、放射線や原子力、あるいはそれらに関連するさまざまな事柄について安心できず、不安感を抱くことがあります。これらの感情は、個人の認識や評価に基づいた主観によって生じるというよりも、多くの場合、無自覚的な感情として社会的に広く共有されていると考えます。

放射線に対して恐怖感や不安感を抱くのは日本人だけではありません。世界の多くの人々が大なり小なり同様な感情を共有していると言ってもよいと思います。しかし、放射線に対する否定的反応がわが国では「国民感情」と言われ、ときには「アレルギー」と呼ばれるのはなぜでしょうか？　もちろん、言うまでもなく、わが国が原爆被災の惨禍を直接に経験していることを誰でも思い起こすはずです。一方、核実験に伴う災害や原子力発電所の事故が主に諸外国で起こり、その実情が大きく伝えられてきました。しかし、広島と長崎の原爆被災は、それらとは比較にならないほど重大な、まさに民族の歴史に深く刻まれた悲劇であったと言えます。

そういうわけで、「放射線をなぜ怖がるのか」という問いに対して、「原爆被災がその根源です」と答えればそれで一応はこと足りるかもしれません。しかし、今日の大多数の日本人がもつ放射線に関わる不安感や恐怖感は、原爆の実体験を通して直接的に形成されたわけではなく、被災の事実や体験に関するコミュニケーションを媒介として社会的に形成され、共有されてきた感情です。したがって、その感情がコミュニケーションの媒介となる社会的意識やその背後にある伝統・文化によって影響されることは当然であると考えます。

そうした感情が具体的にどのような過程をたどって社会的に形成されたかについて解

明するのは容易なことではないと考えます。しかし、これまでの多くの事例から、放射線や原子力についての科学的に合理性のない誤解、偏見、風評、及びその背後にある否定的な感情に、わが国社会における伝統・文化の影響が表れていることを実感してきました(1,2)。筆者は社会科学の専門的内容については素人ですが、この実感をもとにして、その影響がどのような社会現象となって表れているかについて検討したことを述べたいと思います。そうした社会的な影響のもとでは、放射線や原子力について正しく理解することが、多くの人々にとってなぜ難しいかという疑問にいささかでも答えることができればと思います。

前の報告(3)では、わが国における放射線への恐怖感についての序文的な試みとして述べさせていただきましたが、本報告では、伝統・文化の影響例を中心に包括的に述べることにします。

2．なぜ、プロジェクトXでは「放射線」という言葉を忌避したのか？

本題に入る前に身近な実例を紹介します。「８ミリの悪魔 VS 特命班～最強の害虫・野菜が危ない」というタイトルの NHK 人気番組のプロジェクト X をご覧になった方も多いと思います。沖縄県における農業振興の障害となっていた害虫ウリミバエを根絶してウリ類の本土出荷を可能にするとともに、それ以上に重大な損害を招く害虫の本土上陸を未然に防ぐため、大量に増殖した幼虫を放射線照射によって不妊化し、その成虫を沖縄本島全域に放飼する方法でこの大目的を達成したドラマです。

この成功の技術的ポイントは、ウリミバエを不妊化するために放射線を照射したことにあります。しかし、このことを説明するのに、制作者は「がん治療に使われているコバルト 60 を用いて」という表現を使用し、「放射線」あるいは［コバルト 60 からのガンマ線］という表現を使用しませんでした。「コバルト 60 を用いて」と言えば、言外に放射線のことを指すと理解する人も多いとは思いますが、これは誰もが理解しやすい表現ではなく、科学技術的な説明としては曖昧にぼやかされております。不妊化の手段を技術的に正確かつ明瞭に伝えるとしたら、「放射線を使って」と言うべきところです。放射線の発生源としてコバルト 60 という放射性同位元素を使用することが適切な選択であるにしても、この場合その選択は話の本筋からはずれています。また、がん治療用の放射線源としては加速器を用いたX線が主流であり、コバルト 60 が主に使われたのは過去の一時期にすぎません。

それでは、なぜ、「コバルト 60 を用いて」と言ったのでしょうか？制作者の本当の意図は、聴視者が理解しやすいようにそう言ったのではなく、むしろ、「放射線」という言葉を避けるために、「コバルト 60 を用いて」と言ったとしか考えられません。「放射線」という言葉を口にすることが好ましくないと判断したからだと考えます。

言論の自由とは言いますが、世の中には表向きに使うのを自粛する類の差別語があります。「放射線」や「放射能」のような科学技術用語が差別語であるとまでは思いませんが、制作者はこの番組の中でそれを口にしたくない事情があったのだと思います。それは、この番組の主題が、本土復帰によってわが国に返還された当時における沖縄の人々の熱い想いが、その想いを共有する研究者たちの必死の努力を通して、実を結んだ美談であるからです。制作者はドラマの筋立てをそこに絞りたかったわけです。しかし、「放射線」と

いう言葉はその美談にひとつの「汚点」のような存在になりかねないと考えたと思います。害虫とはいってもその子孫を絶やすために放射線にさらす、ということが何か恐ろしいことのように思われて、この筋立てを汚すことにならないかという懸念があったと推測します。「コバルト 60 を用いて」と言えば結局は同じことではないかという反論があるかもしれません。しかし、わが国の伝統社会には西洋的な合理性では理解しにくい「言霊(ことだま)」ともいうべき言語意識があります。「放射線」あるいは「放射能」という言葉を避けることは、科学技術的には適切でなくとも、社会的なある種の配慮からは適切な選択であると価値判断をしたのに違いありません。

いずれにしても、「放射線」という言葉がよくないイメージを生み出すと考えたので、別の表現を採ったわけです。一つの社会現象として見るならば、「言霊」が社会に与える悪影響を逃れるために、「放射線」という言葉を自粛し、「コバルト 60 を用いて」という当たり障りの少ない「言い換え」を行ったと考えます。

しかし、プロジェクトXの狙いが沖縄の男たちの熱き壮絶なドラマであったとしても、この農業プロジェクト成功の技術的核心は放射線利用の選択にあったわけです。そういうわけで、なぜ、放射線照射という誰もが意外と思う選択をせざるを得なかったのかについても番組の中で触れておくべきであると考えます。しかし、ＮＨＫはあえてそれを報道しませんでした。

沖縄本島の山野にヘリコプターで散布する１億匹の成虫は、不妊化されていても正常に交尾する生命機能を放射線照射後において保持しなくてはなりません。放射線照射という手段は、このように不妊化という生物機能のみを制御する能力をもつとともに、公害の原因になるような薬剤を使わずに、短時間で不妊化の大量処理を行うことを初めて可能としたことも、この番組のなかで国民に知ってもらう貴重な機会であり得たと考えます。

放射線は、世の中の多くの人々が考えるように、社会にリスクをもたらすだけではなく、他の手段にとって代わることのできない便益を社会にもたらすことを報道することは公共放送本来の使命とまでは言わないまでも、社会的に公平なバランス感覚ではないかと考えます。番組では紹介されませんでしたが、そうした公的使命を担って日本原子力研究所もこのプロジェクトに貢献するために放射線照射技術の研究協力を行ったと考えます。

しかし、マスメディアとしてのＮＨＫは、新しい技術が社会に受け入れられるかどうかという場面で、リスクと便益のバランスを重視する公平な選択よりも、「放射線」という言葉自体が社会に与えるかもしれない非合理な負の影響のみを排除するという、事なかれ主義の選択をしたことになります。このことは公共放送としての中立公正の原則を損なうほどの問題ではないかもしれませんが、国民には見えにくいところに、「放射線」とわが国の社会との関わりにおいて厄介な問題が潜んでいることを示しています。公共的な報道機関だけではなく、学校教育の現場でも起こり得る問題です。

３．なぜ、食品照射は「いのち」を脅かすと感じられてしまうか？

私自身の専門でもある放射線利用の分野で経験したもう一つの実例を紹介します。

食品の安全性や経済性を高める加工手段としての放射線照射は、食品の安全性を重視するＷＨＯやＦＡＯの勧告を背景に、先進諸国だけでなく現在では多くのアジア諸国でも許可され、最近では多品目の照射食品が国際的に流通しております。しかし、わが国では食

品衛生法によって食品の放射線照射や照射食品の流通は許可されておりません。唯一例外的に許可されている品目がじゃがいもであり、商品価値を落とさずに貯蔵中の発芽を防止することが放射線照射の目的です。しかし、じゃがいもの照射については消費者団体等からの強い反対があり、照射したじゃがいもの流通・販売が国内で自由に行われているわけではありません。

そうした批判的な意見の一つに、放射線照射による発芽防止は、「生きようとする「いのち」の芽を損なうことである。一体誰のためにそこまでやらなくてはならないのか？」という批判が消費者団体等からしばしばなされます。「いのち」の問題まで持ち出されると、放射線照射は人の道に外れたことなのかと考えてしまう人も多いと思います。しかし、発芽を防止するという行為がはたしてそのような生命倫理の立場から考え直すべき問題なのかどうかということです。

照射じゃがいもまで持ち出さなくとも、われわれはさまざまな手段で自然から生命を日々もらって生きていることは誰もがわかっていることです。とくに植物の芽は食卓を彩る季節の食材として特に日本人の食生活には欠かせません。食品照射に批判的な人々であっても、生命倫理まで持ち出してじゃがいもの照射に正面から反対することまではしないと考えます。問題は、照射による安全性は厳格な試験によって実証済みであると言われても、「得体の知れない方法」で伸びようとする芽を抑止したじゃがいもを食べると人体によくない影響があるのではないかと考えてしまうことです。

さらに言えば、「得体の知れない」放射線による発芽防止が「いのち」を損なうと感じてしまうのは、生き物に放射線をあてることそれ自体が原爆投下という非人道的な行為を無自覚的に呼び起こすからであると考えます。広島、長崎の原爆被災による死因の多くの部分は爆風と高熱によるものですが、被災に伴う放射線症が多くの被爆者の「いのち」を長期にわたって奪ってきた事実が社会的に強く印象づけられてきた経緯があります。放射線というものは生あるものの「いのち」を脅かし、かつ、奪う、「得体の知れない」恐ろしい存在であるという極めて根強い観念がわが国の社会にあります。このため、たとえ放射線をあてる対象がじゃがいもの芽であっても、その成長を放射線で損なうことはどこか清くない、善からぬこと、という否定的な価値観を無自覚に呼び起こすのではないかと考えます。

「いのち」という言葉には西洋の合理主義的な言語では言い表しにくいわが国の伝統文化に深く根付いた観念が込められていますが、一方、「いのち」と反対の意味を持つ伝統的な観念として「けがれ」があります。放射線に対して人々がもつ無自覚な感情はこの「けがれ」の意識に強く影響を受けており、人々がそれを自覚しなくとも、食品照射に対する強い批判の心理的背景となっていると考えます。放射線に対する不安感や恐怖感が国民感情とまで言われる所以もそこのあるような気がします。

４．伝統的な言語意識は理性で割り切れない

これまで述べた放射線の利用に関わる２つの事例から、社会的に広く共有されている放射線に対する否定的な感情には、理性では割り切れない、わが国特有の伝統・文化の影響が見られることがわかります。この影響の顕著な特徴が「ことだま」や「けがれ」という古来受け継がれてきた伝統的な意識を通して現れていると考えます。

「けがれ」の場合について言えば、放射線や放射能という物理的な実体に「けがれ」を感じることとともに、「ことだま」の場合と同じように、「放射線」や「放射能」という言葉の伝達において「けがれ」を感じている場合もあると考えます。こうした意識は科学的合理性では説明し難い、「言葉に宿る非合理的な力」とでもたとえるしかない心理的なはたらきとして現れ、これが合理的な事実認識を覆い隠すほどの否定的な共感を無自覚的に人々の心に呼び起こすと考えます。この否定的な共感は、善悪、美醜、清濁で代表されるわが国独特の二元的な価値観における負側(悪、醜、濁)の価値をそのまま表しています。こうした否定的な価値判断が色濃く表れる場合、「ことだま」の言語意識と「けがれ」意識が混然一体のものとして感じられることもあります。

現代社会では事実の論理と規範の論理は別個のものであり、科学的、客観的な事実認識をいくら積み重ねても価値判断(あるいは言説)を形作ることはできないことがしばしば指摘されます。しかし、上述の伝統的な意識の影響下では、事実を表す言葉それ自体が価値判断(あるいは言説)に直結してしまうという現象を社会的に生んでいます。非合理的な意識の問題まで持ち出さなくとも、わが国の社会において事実と価値を峻別することが難しいことは、原子力・放射線の正しい理解のためには厄介な問題です。これは単に原子力の問題に限らず、価値観が対立しているさまざまな領域での事実の理解に共通した実態であると思います。こうした伝統意識が多くの場合無自覚であるため、この難しさというものはどこかつかみどころがないように見えるのです。

5．「ことだま」の影響…言語伝達に関わる非合理な力

言霊は、言葉を発するによって、その言葉に願いを実現する力が宿るという信仰にもともと立脚しています。言霊はわが国を幸せにする役割をもつと万葉集に書かれていますが、万葉集や古今和歌集の時代における古代日本人の精神性を理解するのに欠かせないキイワードとされています。しかし、古代の和歌や祭式等で発する言葉に宿るというだけでなく、使い方によっては、現代でも人々の禍福を左右すると信じられていました。卑近な例を挙げれば、不吉なことばや縁起でもない言葉は「不幸」を招くとして、口にするのをはばかる伝統が現在でも生きています。

明治以降の啓蒙主義的風潮から見れば、それは過去の迷信にすぎないのでしょうが、小林秀雄は名著『本居宣長』のなかで「「言霊」という古語は生活の中に織り込まれた言葉だったが、「言霊信仰」という現代語は卓上のものだ」と述べております(4)。これを言霊と呼んだのは当時あたりまえの生活の知恵だったわけで、特に信仰と呼ぶようなものではなかったわけです。言霊というわが国独特の言語意識は、西洋のように神を偶像化しなかった列島特有の長期にわたる口承文化のなかで育まれたと思われます。

現代日本の代表的哲学者の一人である中村雄二郎氏は現代人の精神性にも影響を与えていることについて次のように述べています。

「言霊的言語観は、とりわけ、「言霊」の名称は、非合理主義的なもの、時代錯誤的なものとして、感覚的にしりぞけられてきた。しかし、たてまえ的な理論の立場に甘んずる場合は別として、少しでも日本における思想や文化のあり方、日本人の心性などの問題に立ち入って眼を向けるならば、思考表現、伝達の根本にかかわる言語意識の問題として、われわれの裡にある言霊的言語意識を無視し得なかったはずである」〔中村雄二郎(5)〕。

言霊は決して過去の遺物ではありません。

作家の井沢元彦氏は、現代人の行動原理においても言霊が否定的な力を発揮していることを説得力のある例示を通して主張しています(6,7)。世論だけでなく、マスメディアを含めた政治・社会的な言論でさえ、非合理な言語意識としての言霊によって影響されやすい実態を井沢氏は明快に指摘しています。

ここでは、社会的に否定的な力を発揮する言霊を「ことだま」と便宜的に書かせていただきます。オリジナルの「言霊」あるいは伝統文化における言わば美徳としての「言霊」から、今日的な否定的な価値の側面を区別しておくためです。

井沢氏は現代の日本社会において「ことだま」の否定的影響が顕著に表れている典型的な例として、①ハイジャック強行突破については意見さえ言えないこと、②戦時中の「敵性言語追放」運動、③戦後の過度な「差別語追放」運動、④自衛隊あるいは軍事的な事柄への差別などを挙げています(6,7)。いずれも国外では理解困難な言語意識と言えます。

日本の航空機がハイジャックされてテロリストが難しい要求を出したとき、日本では強行突破論を公の場において口にすることができません。たとえ人道的解決手段が見出しにくい場合でもそれを口にすることは人としてあるまじきこととされます。それがやむを得ない合理的判断による意見であるとしても、「犠牲者が出ても解決するべきだ」と主張するならば、「犠牲者が出ることを願っている」という風に受け取られかねません。

放射線と深い関わりのある原子力施設について、「事故は絶対に起きない」とまで言わなければ収まらない背景には、事故の可能性をわずかでも言及すれば、直ちに「最悪の事故は起こる」と受け取られ易いという事情があるからです。これは有事法制の整備は戦争に巻き込まれる危険性を招くという感情に一脈通じています。このことは、かつての戦時下において戦争に「負ける」と言う予測を口にできなかったことと同じです。「負ける」と言わせないのは「軍部の圧力」というよりも「ことだま」が威力を発揮するわが国の社会特有の現象と考えるべきです。

以上の例に共通して見られる「ことだま」の特徴を今日的に表現してみると、「リスクを言及することは最悪の危機を招く」という言語意識です。「絶対安全とは言えない」が「最悪の事故は起きる」に直ちに結びつくというリスク感が社会に強く残る限り、リスクの社会的認知を前提とし、便益とのバランスをとる方向でリスクを削減するためのコストも負担する、という認識の上に立つ安全・安心社会の実現は原子力平和利用に限らず難しいのではないかと思われます。

悪い言葉としての「ことだま」を自粛し、他人にもそれを使わせないように圧力をかけることを「言葉狩り」と呼びます。「言葉狩り」の典型的な実例は、戦時中における敵性言語の追放運動や戦後の差別語の追放運動に現れています。「言葉狩り」に対しては、それを逃れるための「言い換え」が付きものです。その代表例が「軍隊」という「ことだま」に対する「自衛隊」という「言い換え」ですが、われわれの日常生活、マスメディアの言論などではその例示には事欠きません。

本テーマに即した「言い換え」の実例としては、「放射線」や「原子力」という「ことだま」に対する「量子ビーム」や「量子エネルギー」、「放射線処理」という「ことだま」に対する「電子照射」や「診断用のレントゲン照射と同じような方法」が挙げられます。これは、一方の見方からすれば、否定的価値のイメージに対する擬装ですが、他方の見方

からすれば、無用な恐怖感や不安感を軽減するための対策とも言えます。

放射線は、現在では多くの製造業における生産ラインの一つの工程として広く利用されていますが、このことを一般の消費者はほとんど知りません。「放射線」という言葉が消費者に否定的なイメージを与えるので、製造者は「放射線」を使っている事実を公には言いたがらないことがその大きな理由です。ただし、医療の場合は人の生死が問題となるため、いのちを救うのに「放射線」という言葉の否定的なイメージにこだわっていられない事情があります。

上に述べたとおり、「ことだま」の影響によって、善悪、美醜、清濁という二元的な価値判断における否定的な価値評価のみが増殖しレッテル化されますので、言葉本来の意味は曖昧になっていきます。その好例が、「放射線」、「放射能」、「ひばく」、「げんばつ」、「死の灰」などの「ことだま」影響です。

「放射線」と「放射能」は科学的には明白に異なる概念ですが、専門家や教育者の間では、それらの理解について根強い誤解や混同がよく話題となります。懇切丁寧な説明に努めても誤解と混同が根強く残り、一度覚えたとしてもすぐに忘れ去られる傾向があります。「放射線」と「放射能」という言葉が呼び起こす否定的感情において両者は区別しがたく、簡単に言えば、その同一性の力強さに比べれば、科学的概念の異質性の力が弱いからです。したがって、それらの理解は科学的常識であるとしても、記憶として定着しにくいのです。医療を法社会科学的に研究しておられる松田陽介氏は『放射線恐怖幻想をめぐる一考察』のなかで、「放射線の怖さが先行してしまうと恐怖だけが残り、有用な情報は残らない」と述べています(8)。「放射線」、「放射能」は後で述べるような「けがれ」意識とも重なり合うため、この否定的感情が無自覚的に人々の心に強く呼び起されるからであると考えます。

６．「けがれ」の影響…もう一つの無自覚な非合理感覚

「放射線」、「放射能」という言葉に宿る非合理な力として、「ことだま」とともに忘れてならないのが「穢(けが)れ」の観念です。「けがれ」も日本社会で古来受け継がれている独特の意識であり、これまで述べましたように、「ことだま」とも密接な関わりがあります。「けがれ」と言うと人目をはばかることのように思う人もおられますが、日常生活にも無自覚ではありますが関係しております。日本人の多くは他人が使った箸、茶碗、湯飲み等は熱湯で徹底的に消毒されても、なんとなく汚い感じがするので使おうとはしません。そこには「けがれ」の意識がまだ生きているのです。

井沢氏は著書の『穢れと茶碗』(7)のなかで「穢れという概念は、科学的、理性的概念ではなくて、宗教的概念であり、日本人の心の中に厳然としてある」と述べています。「けがれ」を落とすのは、消毒液や石鹸のような科学的手段ではなく、「禊(みそ)ぎ」と「祓(はら)い」です。この感覚は日本人の生活に深く根付いた無自覚的な慣習であり、一般には、死、病、災い、汚染、不義、淫らな行為、それらに付きまとう差別への関わりから誘導されます。わが国の宗教観では生を賛美する反面、死に関わるものを「けがれ」として忌避する習慣があります。

井沢氏は、この習慣は平和が最も長く続いた平安時代に特に強まったと述べております。軍隊や皮革業のような死に関わる職業は社会的に差別されました。当時治安維持に当

たった検非違使(けびいし)は律令制度の枠から外されました。平安遷都した桓武天皇は正規軍を廃止し、その代わりに、「平安」に宿る「ことだま」に相応しい「健児(こんでい)」を置きました。貴族は武士を“けがれ”た存在として差別して「軍事」を忌み嫌い、清浄な世界で「平和」を謳(うた)うことを使命としました。平安期以降は武士が実権を握りましたが、「軍事」を「けがれ」とみる伝統は一つの文化的な基調として今日まで生き続けています。日本人の考え方に見られる無自覚的な非合理性がこうした歴史を知ることによって理解できます。

「放射線」や「放射能」に対する日本人の恐怖感に「けがれ」の意識が入り込み易いことは、上に述べた死、災い、汚染などのキイワードから容易に想像できます。放射線・放射能に関わる「けがれ」意識を示す実例としては、①放射能や放射線はどんなにわずかな量でも「いのち」を脅かすと感じること、②放射線を照射したものは放射能を帯びると考えること、③人工放射線は自然放射線よりも危険であると感じること、などに典型的に現れています。

原子力施設等からの放射能・放射線の漏れや被ばくについては、たとえそれらによる健康への影響が科学的にはあり得ないほど少ない量であっても、地域住民の「いのち」への脅威がマスメディアなどで社会的にしばしば強調されます。具体例としては、動燃火災事故における放射能漏出、JCO 事故における遠隔地住民の被ばく、人形峠のウラン残土問題などの見られる現象です。これらはいずれも科学的には生命の脅威どころか、健康への影響も考えられない程度の放射線被ばくです。輸入モザナイト石の問題では、もともと、ある業者が健康増進を目的として輸入した天然モザナイト石をマスメディアが取り上げた段階では、逆に健康を脅かすものとして認知されるという経緯があります。これらの事例に共通して、合理では割り切れない「けがれ」意識が背景にあると考えます。

放射能・放射線に関する防護ではその量的概念についての理解が基本となりますが、これについては一般人の理解を得るのが容易でないという問題があります。しかし、「けがれ」については、そもそも量という概念が通用しません。伝統的社会において「けがれる」ことの重みは、「けがれた」者、物、事象が共同体から隔離・排除されるのを恐れることにあります。

さらに、「けがれた」者、物、事象は「接触」を通して伝染するという観念がその恐れを強めます。放射能汚染と「けがれ」の観念は全く異質ですが、放射能汚染は接触を通して拡散し易いこと、及び一定量を超える放射能を帯びた者や物が隔離を必要とするということにおいて、「けがれ」の観念と共通するところがあります。チェルノブイリ原子力発電所事故、ＪＣＯ事故等における非科学的な風評の背後に、隔離や排除という観念が強固に残っていることが示唆されます。

この観念の延長として、「けがれた」放射線があたれば、当たったものに「けがれ」が移ると考えるが自然です。こうして、放射線被ばくと放射能汚染の区別が曖昧となり、放射線が当たったものは放射能を帯びる、あるいは残るという観念が生まれます。

特に、食品の放射線照射に対して日本人の多くは無自覚に「けがれ」の意識が呼び起こされ、照射によって食品が放射能を帯びる、あるいは照射後に放射能が残ると考えてしまいます。コバルト 60 のガンマ線を照射した食品が放射能を帯びることは物理学的にあり得えませんし、そもそも放射能を帯びないのに放射能が残るはずもありません。「けがれ」の観念は多くの日本人にとって無自覚な意識から生じているからこそ強固なのであり、

専門家が合理的認識を啓蒙することによっても，考えが改めることは容易ではないと考えます。

人工放射線は自然放射線よりも危険であるという観念はわが国の文化特有の自然信仰や一点の「けがれ」さえ嫌う美的感覚が影響していると考えられますが、最近では欧米においても人工的なものよりも自然のものに価値を置く主義主張の影響があり、わが国特有の現象とは言えないかもしれません。こうした考えは、自然環境からの放射線を無視し、それに比べてわずかな原子力施設等からの漏洩成分のみを過敏に強調する傾向によく表れています。しかし、放射能線で有名な三朝温泉の泉水は放射能漏れした原子炉の一次冷却水の放射能濃度を同程度であると言われています。健康への影響を支配する放射線の特質は、その物理的性質(放射線の種類、スペクトル、強度、時間的要因)のみに依存し、その発生源が自然のものか人工のものかには関係ないことを科学者は容易に説明できますが、ある種のイデオロギーや無自覚な価値観に対してこうした科学的合理性は力を発揮しにくいという問題があります。

最近における「穢れ」意識の影響例としては、放射線とは直接の関係ありませんが、原子力発電所の原子炉圧力容器のなかにあるシュラウド(炉心隔壁)の「ひび割れ」問題が挙げられます。シュラウドはステンレス製の巨大な物体ですが、格納容器内の冷却水の流れを分離する仕切板としての機能をもつに過ぎません。もし、「ひび割れ」が見つかっても、「機能」的な部分に影響を与えないならばそれは欠陥とは呼ばず、運用に関する維持規格に基づいて運転してよいというのが米国の考え方です。しかし、わが国の場合、原子力発電所立地地域の人々を含めて多くの国民は「ひび割れ」を欠陥として認識しており、「機能」として安全だという科学的説明には満足できませんでした。

このことは、人間の健康を例にとって考えれば、わが国の社会では「肌荒れ」と「心臓の欠陥」を本質的に区別できないことに通じますが、多くの日本人は「原子力に関わるひび割れ」には「けがれ」のようなものを感じる無自覚な言語意識があり、「肌荒れ」と同じようには感じていません。原子力や放射能に対する否定的感情の心理的投影がこうした非合理な認識として現れていると考えます。

「穢れ」意識は、JCO 事件における住民の被ばく、BSE 対策としての全頭検査、鳥インフルエンザ対策等にも共通して見られる「不安」感情にも影響を与えています。マスメディアが「放射線」や「放射能」に関する話題に取り上げる場合、国民すべてがこれらの言葉に一種の差別感をもつことを暗黙の前提としていることがしばしばあります。「放射線」や「放射能」に対して国民が「けがれ」意識を共有していると無自覚的に感じているのかもしれません。「放射線」、「放射能」の場合と同様な「けがれ」意識で扱われている科学技術用語に「化学物質」があります。「化学物質」は、本来の科学的な意味から離れて、有害な否定的価値をもつ「ことだま」でもあり、自然の産物ではなく、人工の産物という間違ったレッテルが貼られています。

一方、一転して肯定的な見方をすれば、こういう非合理感覚がわが国の伝統・文化として育まれたお陰で、非合理とは紙一重のところにある、合理の極限まで突き詰めることによって初めて実現する世界最高レベルの精緻な工業技術がわが国で独自に育ったという見方もできます。

７．「放射線」に非合理性が宿るという比喩

「放射線」や「放射能」という言葉に「非合理な力」が宿ったのは、前に述べましたように、原爆体験が社会に与えた強烈な衝撃によるわけです。あらゆる人知を超えた未曾有の破壊力が、「放射線・放射能」という得体の知れない不可視の威力をともなって襲ったわけです。比喩的に言えば、その破壊力が、社会に共有されている「日本人の DNA」に刻まれた伝統的な言語意識をも傷つけたのだと想定できます。

太古の時代では、自然現象に関わる創造力だけでなく破壊力からも「神々」は誕生しましたが、古来、「聖なるもの」がもつ「いのち」の創造力が畏敬されたのに対して、破壊力は激しい霊威を発揮して社会に災いをもたらす「荒振神(あらぶるかみ)」として怖れられました。神々の怒りが天変地異や災禍をもたらすわけですが、そのような危険で恐ろしい力は大自然の底知れぬ威力の裏面だったわけです。社会生活にプラスに作用する吉兆慶事は「聖なるもの」として、マイナスに作用する天変地異や死・病などの災厄は「けがれ」としてとらえられていたのです。

これと同様に、原爆は、幾千年の時を隔てた人工的な破壊力ではあっても、たとえて言えば「日本人の DNA」に刻まれた言語意識を傷つけるほど激しい作用をもたらしたのではないでしょうか？破壊をも信仰と結び付けてしまうスタイルは日本人の心に自然に染み込み今日も生き残っていることを考えますと、放射線に「けがれ」を無自覚に感じてしまうのは日本人としての信仰心の表れと言えます。

過去の歴史を見ると、代表的な「荒振神」となった「天神」の場合、当初は不慮の死を遂げた菅原道真を祀る御霊信仰に結びついて、「祟り(たたり)神」として怖い威力を発揮しました。しかし、後世の童謡「通りゃんせ」に歌われるように、「天神」は怖いイメージを残しながらも、わが国独特の神々の習合(神仏の習合ではない)を重ねた結果、福をもたらす学芸の強力な守護神に変身してきたことで知られています。「放射線・放射能」はまだそうした社会的な変貌あるいは習合を遂げる段階には至らず、いわば祟り神的存在として忌避や禁忌の対象にされた状態にあるのかもしれません。原子力発電所の施設の片隅には避雷の願いを込めて天神さまが祀られていますが、行く末は互いに結ばれる可能性を秘めたもっと深い因縁を蔵しているのかもしれない、などと願望を託すのは比喩ではなく羽目を外した妄想でしょうか？

怖れと不安についての社会心理については比喩や神話によるたとえが理解の助けになると考えます。特にわが国は太古の意識を現代に受け継ぐ極めてユニークな近代国家であるからこそ、こういう比喩が有効なのだと思います。

８．まとめ

放射線や原子力に対する恐怖･不安感は原爆被災を起源としますが、この感情の特質は「ことだま」や「けがれ」で象徴されるような伝統的な意識等によって深く影響されています。これらの意識は多くの場合科学的理性では説明できない言語伝達に関わる非合理的なはたらきをもとにしており、古来受け継がれてきたものですが、現代の日本社会では、昔とは逆の否定的な影響力をも発揮するに至っています。この非合理的な言語意識が誤解、偏見、風評等も含めた原子力や放射線に関わる認識に無自覚に投影されるために、原子力や放射線についての人々の合理的認識を覆い隠す社会的リスクともなっていると考えます。

このことは、放射線・放射能についての誤解や偏見それ自体は一見単純のようでも、それを正しい理解へ導くことは容易ではないということを示しています。

井沢氏は、「ことだま」はわが国特有の病理現象であり、いまや日本人の心を巣食う恐ろしい妖怪であるとまで述べています。しかし、それを解消するには「ことだま」が幻覚であり実体がないことに気づく以外にないとも述べています(5)。つまり、「放射線」という「ことだま」を解消する方策は、放射線について合理的に正しく理解する以外にはないという極めて真っ当な考え方でいくべきであるということです。したがって、正しい理解の普及を目指す息の長い教育活動を地道に続けていくとともに、そのことをベースに安全・安心社会を支えるリスク・コミュニケーションを原子力分野で容易にすることが大切であると考えます。

さて、これまでは言霊やけがれについて否定的な側面ばかりから見てきましたが、肯定的な面も含めて、これらの意識を育んだ日本という風土について少し考えてみたいと思います。

日本列島は大陸世界からほどほどの距離をおいて独立的に位置し、森林と岩清水という大地の恵みのなかで、大陸からの文明の波及に耐え、かつ、柔軟にそれを吸収しながら、人間相互の信頼関係を基本とする素朴な社会生活を近代までなんとか続けてこられました。象徴的な言い方をすれば、村の鎮守様の縄張りで区切られる神域で「安心」できればよいので、自然と人間の対立が生む排他的原理や世界の果てまで統括しようとする超越的な神のもとでの透徹した合理性は不要だったのです。言霊やけがれの意識について言えば、こうした幸せな風土であればこそ育まれ、持続することができたと考えます。

日本人の多くはこうした素朴な世界観に今でも愛着を感じていますが、その日本社会も大きな歴史的な節目には狭い信頼関係を見直して、厳しい合理的な考えに突き動かされる時期を長い歴史のなかで幾度か経験しました。今の時期も、「安心できる非合理性」に無自覚的に浸ってはいられない歴史の節目にあるのではないかと思います。

いわゆる科学啓蒙主義の立場に立てば、言霊やけがれの意識は啓蒙され残った暗い部分であるということになるのかもしれません。しかし、筆者は学校で習った近代西欧文明の進歩史観をそのままわが国に適用するには無理があると考えております。放射線に対する日本社会の不安感や恐怖感のなかには、西洋文明に対して日本文明が抵抗し逡巡する感情と重なるものがあります。筆者にはこうした非合理的感情にどこか共感する気持があるので、啓蒙という高い座から非合理性を見下ろすような気持ちにはとてもなれません。しかし、物質的、精神的に行方の見えない大きな困難を抱えるわが国の現状を考えますと、放射線についての理解や原子力エネルギーの選択については合理的かつ現実的に割り切らざるを得ないと確信しています。

引用文献

(1) 田中隆一：第2回21世紀連合シンポジウムー科学技術と人間ー論文集 p.379 (2003)
(2) 田中隆一：第3回21世紀連合シンポジウムー科学技術と人間ー論文集 p.13 (2004)
(3) 田中隆一：放射線教育 Vol.7, No.1 p.53 (2003) 放射線教育フォーラム
(4) 小林秀雄:『本居宣長(下)』新潮文庫（1992）p.62

(5) 中村雄二郎：言語生活 242 号 (1972)
(6) 井沢元彦:『言霊』祥伝社（1991）
(7) 井沢元彦:『穢れと茶碗』祥伝社（1994）
(8) 松田陽介：Isotope News 22, 3 (2002)

［書評］

原子力と報道（中公新書ラクレ　157）

中村政雄　著

著者は、読売新聞で社会部、科学部の記者、論説委員を経て、現在でも科学ジャーナリストとして活躍し、原子力に関する著作もある。本書でも書かれているように 97 年に「原子力報道を考える会」を結成し、主張を放送局や新聞社、国会議員等に送る等、現在でも原子力について客観性、公平性のある報道を求める活動をしている。

今まで原子力の報道が、正確にフェアに行われてきたかどうかについて著者の意見を述べたのが、本書である。

本書ではまず、第１章で、原子力報道がどのように行われて来たかを俯瞰するために、この国に原子力の火が点る時から、現在までの歴史をまとめている。最初は歓迎ムードだったのが、反対ムードがいつの間にか広まり、チェルノブイリ原発事故及びその時に書かれた「危険な話」で反対運動は盛り上がる状況の経過にはどこにポイントがあるのか分かりやすく書かれている。現在では、脱原発が世界的な動きとは言えない状況なのに、世界の動きを伝えていない日本のマスコミについて批判もしている。

第２章では、日露戦争後のポーツマス条約に関する報道で日本のマスコミがミスリードを行ってしまったことから始めて、誇大報道が起きる原因、時間も人材も紙面も制約される中で適切な記事を書く難しさを書いている。実際の経験を元に書かれているので、心に訴えてくるものも大きい。

第３章では、政治に翻弄される原子力の姿が描かれる。政権をとるためなら、原子力に賛成でも反対でもする政治家、核不拡散の為に反対運動を陰で支えるアメリカの動き等が書かれている。住民投票へのマスコミの関与も書かれ、住民への情報提供も、結果解析も、不十分なままの記事が終わってしまっているマスコミには鋭い批判を投げかけている。

第４章では、「原子力報道を考える会」の発足や、不安を書き立てるだけの不正確な内容に対する批判が具体的に書かれている。JCO の風評被害、東京電力のトラブル隠し等では、背景や影響など掘り下げて批判すべきところは批判として記事になければならないものを記者達はさらっと流してしまっている点についての批判もある。この指摘は記者の経験がなければ、書けない視点であろう。

本書は全体的にまとまっている上、文章も読みやすくいので、一気に読む事ができる。原子力に対するマスコミの影響に関心を有する読者には非常に有用な本であると思う。

ただ、今後、インターネットの普及によって報道の力はどの程度の強さを持つのかが疑問である。掲示板の場合、マスコミが報道しない事を掲示板に書込む事により、それに共感を持つ人達が集まるという独特の現象がある。また、諸外国の報道を Web で見る事ができ、さらに英語等のサイトを無料で翻訳してくれるソフトもある。情報源は日本のマスコミだけではなくなりつつある。最近流行してきたブログは誰でも自分の意見を公開できるうえ、人気のあるブログは読者数が多いので、とんでもない影響力を持つ事もありえる。今後、インターネットがどのような影響を持つか、それについてどのような視点が必要かという意見を、著者独自の観点から書いて欲しかったと思う。

（189 頁、756 円、中央公論新社 ISBN：4-12-150157-8　発行年月　：　2004 年 11 月）

（坂内忠明　放射線医学総合研究所）

［書評］

環境リスク学　不安の海の羅針盤

中西準子　著

著者は、長年環境問題に取り組み続けた研究者である。少なくとも環境のリスク評価について学んだ事がある読者は一度ならずとも、その名前を聞いた事があろう。環境のリスク評価は環境影響の大きさを分かりやすい形、比較しやすい形にするのが目的であると言える。その尺度を絶対視するわけにはいかないが、行政が限られた予算や時間で対応を迫られた時、どれを優先すべきかという指標にはこれ程役立つものはないであろう。もちろん行政と対立させて環境問題を住民や国民の問題として取り上げている人も、自分の首を絞めない程度に主張するにはどこまでを限度とすべきかを考える時に参考になるはずである。

著者は、昨年の三月に横浜国立大学を定年退職することになった。第１章はその講演の記録である。著者は下水処理の分析の結果から、当時は下水の濃度ばかり問題に取り上げられ、量については取り上げられていないことに気付き、全体量を調べた結果、処理施設では全く重金属が除かれていないことを発表した。このことはマスコミでも取り上げられ、大きな運動となり、工場の排水は自治体に任せるのではなく、自己責任で処理することになった。更に下水道の研究を行った時に著者は一つの壁にぶつかる。上流と下流に住む住民の利害が一致しない時、どうすれば良いのか？住民に「この程度は我慢して下さい」という時の「この程度」の根拠はどこに求めるべきか。このことがきっかけとなって環境中のリスクを研究することになった。発ガンのリスク、異種のリスクの比較、生態（絶滅）のリスク。新たなリスク手法も開発したし、リスク絡みでいろいろな調査も行った。ダイオキシン問題は主要因が昔の農薬であるというのは、最近では常識かと思われるが、この報告を行ったのも著者である。今後の活躍に期待したいものである。

第二章では、その後に行われたインタビューを元に作られている。著者のリスクに対する考え方が良く分かると思う。Q&A の形なので非常に読みやすい。ダイオキシンの話は非常に興味深いものがある。

第三章以後は環境リスクについて、著者がそれ以前に書いたものをまとめている。環境ホルモン、BSE（狂牛病）。国民が環境問題に関心を持ち、マスコミが環境問題を大きく取り上げる事が大きくなった。それ自体は悪い事ではないが時には、マスコミが大きく取り上げすぎて、杞憂と呼んでもおかしくない状況まで作り上げている。著者はリスクの観点ンからこの状況に警鐘を鳴らしている。

本書は放射線や原子力について詳しく取り上げているわけではない。放射線関連でいくらかの頁を割いているのは、ラドン程度である。しかし、それでも読者にこの本をお薦めしたい。なぜなら、放射線や原子力を考える時、リスク問題は避けることのできない話であり、かつこの本が示す考え方は、環境を考える時、これ程有益なものはないと思われるからである。しかも、比較的読みやすい文章なので一気に読む事ができる。是非、一読されたい。

（251 頁、1,890 円、日本評論社 ISBN：4-535-58409-5　発行年月 ： 2004 年 09 月）

（坂内忠明　放射線医学総合研究所）

「放射線教育」投稿規定

NPO 法人放射線教育フォーラム発行の論文集「放射線教育」では、広く放射線教育に有益と考えられる内容の投稿論文を募集する。

1. 投稿資格

本誌への投稿資格は特定しない。「放射線教育」の内容及び体裁に合えば、誰でも投稿できるものとする。

2. 掲載する論文について

内容としては、放射線教育、エネルギー・環境教育の進展に寄与すると思われるもので、長さ、新規性により研究報告、ノート、解説、資料、意見、諸報に分かれる。詳細については別紙に定める。原則として未発表のものとするが編集委員会の判断によっては転載を認める。原稿の書き方は別に定める。

3. 論文の審査

編集委員会は、論文の審査を複数の専門家に依頼する。その結果、内容・体裁に問題があると判断した場合にはその旨を著者に伝え、修正を求める。受理できないと判断した場合は、理由を明記して、論文を著者に返送する。

4. 論文の版権

掲載された論文の版権は放射線教育フォーラムに属するが、論文内容についての責任は著者にあるものとする。

5. 論文の別刷

掲載された論文の著者には、表紙付きの別刷３０部を無料で提供する。

6. 論文の送付

印刷用原稿の体裁を備えた論文を下記あて送付する。またフロッピーの同封、もしくは編集委員宛の E-mail による論文の送付を歓迎する。審査の結果、掲載を認められた最終的な論文はプリントアウトをして下記に送付する。毎年１月 31 日をその年度の締切とする。

（送付先）〒100-0013　東京都千代田区霞ヶ関 3-3-1　尚友会館 B1F
放射線教育フォーラム編集委員会
（封筒に「放射線教育投稿論文」と朱書する）
E-mail　：mt01-ref@kt.rim.or.jp

論文の分類

研究報告（10 ページ以下）

結果と考察を含み、十分な意義があるもの

a) 放射線教育、エネルギー・環境教育の進展に寄与すると思われる、独創性のある研究論文。実験、調査、比較研究なども含む、

b) 放射線教育、エネルギー・環境教育の進展に寄与すると思われる教育実践の報告

c) 新規に開発した教材・実験方法・器具の報告

ノート（1ー2 ページ）

a) 放射線の理論や現象に関する新規の解釈

b) 新規性の高い教材・実験方法・器具の報告

c) 新規な実験データ及び考察

d) 新規に考案した指導法、授業展開法、評価法など

e) 放射線教育、エネルギー・環境教育に関する授業実践、イベント実践の報告

総説（10 ページ以下）

原則として編集委員会の依頼によるものとする。

各専門分野の研究について、その方面の進歩の状況、現状、将来への展望などを放射線教育若しくはエネルギー環境問題、放射線及び原子力問題に関連させてまとめたもの。

資料（10 ページ以下）

実験ならびに調査の結果または統計などをまとめたもので放射線教育、エネルギー・環境教育に利用できるもの（含む科学史研究）

意見（1ー2 ページ）

放射線教育、エネルギー・環境教育、放射線に関する制度、教育制度などに関する種々の提案・意見など

諸報（1ー2 ページ）

a) 会議報告（放射線、エネルギー・環境教育に関連する会議に参加した報告で、教育的価値が高いもの）

b) 訪問記（放射線、エネルギー・環境教育に関連する施設に訪問若しくはイベントに参加した報告で、教育的価値が高いもの）

c) ニュース（放射線、エネルギー・環境教育、理科教育に関連するニュースの紹介）

d) 書評（放射線教育、エネルギー・環境教育、理科教育に資する書籍の紹介）

e) 製品紹介（放射線教育、エネルギー・環境教育、理科教育に資する製品の紹介）

f) サイト紹介（放射線教育、エネルギー・環境教育に資するホームページの紹介）

「放射線教育」原稿の書き方

放射線教育フォーラム編集委員会
放射線教育フォーラム
〒100-0013　東京都千代田区霞ヶ関3-3-1　尚友会館B1F

［要約］　「放射線教育」の投稿にあたって原稿の書き方を紹介する。

1. 使用言語

使用言語は日本語とする。

2. 使用ソフト及び保存ファイル

原稿はそのまま印刷できるようにMS-Word（Microsoft）で作成する。他のソフトを利用した際は，docファイルで保存する。それができない場合は，文章をtextファイルで，図をJPEG若しくは，GIFで保存する。

3. 用紙

3.1 用紙の設定

用紙はA4を用い，1ページに40字40行，上下それぞれ30mm，左右それぞれ25mm以上を空ける。意見，諸報は二段組にし，1段に17字入れる。

3.2 枚数制限

研究報告，総説，資料は原則として10ページ以内にまとめる。ノート，意見，諸報は2ページ以内とする。別刷り作成に便利なように諸報以外は偶数ページの原稿となることが望ましい。

4. フォント

日本語のフォントは明朝体，英語はTimesを用い，研究報告，総説，資料の場合，大きさは表題のみ16ポイント太字，その他は10.5ポイントとし，見出しは太字，本文は標準とする。意見，諸報は表題のみ12ポイント太字，その他は10.5ポイントとする。

5. 図表

図表のタイトルは太字とする。図は，図1，図2と，表は表1，表2と番号を振る。図表は上下左右のいずれかの欄に沿う状態で体裁を整える。図のタイトルは図の下に置き，表のタイトルは表の上に置く。表は縦線がない方が望ましい。

表1　図表の書き方

	番号の振り方	タイトルの位置	Word に入らない時の保存形式
表	表1，表2……	表の上	表を送付し，TEXT 若しくは DOC
図	図1，図2……	図の下	JPEG 若しくは，GIF

6. 表題，要約及び見出し

研究報告，総説，資料の場合，1ページ目の第1行目に表題，2行目を空けて，3行目に氏名，4行目に所属，5行目に住所を書く。ここまでは各行の中央にそれぞれ記載する。6行目、7行目を空けて，8 行目から[要約] (50-200 字程度) をつける。所属が複数になる場合、右肩にアルファベットを上付で付け、アルファベット毎に所属と住所をつける。

本文の大見出し，中見出し，小見出しは point system とし，1.，1.1，1.1.1 等のように書く。

意見，諸報の場合は，要約を書く必要がない。

7. 数値，単位，核種の表記

数値は，桁数が多くなる場合は，なるべく 10 の乗数を用いる。

例：370000 Bq　→3.7×10^5 Bq

単位は SI 単位を使用する。古い文献を引用するため，SI 単位以外の単位を用いなければならないときは，その単位を使用した後に，SI 単位に換算した値を示す。

例：検出された放射能は 1 nCi (=37 Bq) であった。

核種の質量数は ^{60}Co，^{131}I のように元素記号左肩に上付きで表記する。

8. 引用文献

引用文献は番号に片かっこを付して本文の右肩につける。

引用文献は下の形式で原稿の最後に一括すること。ただし，文献のタイトル記載については，著者の判断に任せる。雑誌のタイトルは省略形を用いても構わない。

〔雑　誌〕著者名，タイトル，雑誌名，**巻数**，ページ (西暦発行年)

日本語の論文の場合，著者は全員の名前を書くようにする。英語の論文の場合，名前はファミリーネームとイニシャルを用いる。ページは最初のページと最後のページをハイフンで結ぶ。

例) 坂内忠明，霧箱の歴史，放射線教育，**4**，4-17 (2000)

Ban-nai, T., Muramatsu, Y. and Yoshida, S. Concentration of ^{137}Cs and ^{40}K in edible mushroom collected in Japan and radiation dose due to their consumption. Health physics, **72**, 384-389 (1996)

〔単行本〕著者名，タイトル，編者名，「書名」，ページ，発行所，発行地 (西暦発行年)

タイトルと編者名はある場合のみ。

例) 松浦辰男，「放射性元素物語」，154p，研成社，東京 (1992)

渡利一夫，放射性セシウム，青木芳朗，渡利一夫編，「人体内放射能の除去技術：挙動と除染のメカニズム」，7-10，講談社，東京 (1996)

9. その他の注意

1) 用語はなるべく各学会制定の用語を用い，翻訳不能の学術語，日本語化しない固有名詞に限り原語（活字体）のまま用いる。数字はアラビア数字を用いること。

2) 文献でない備考，注などは，*，**を右肩につけ，説明を脚注とし，その原稿用紙の下部に書くこと。

お詫び：「放射線教育」の誤字

フォーラムの会誌 Vol. 7(2004 年 3 月発行)の論文の中で編集部のミスにより訂正を行わないまま印刷をした箇所がありましたので，関係者にお詫びすると共に次のような訂正をお願い致します。

p. 62 下から 12 行目「鼻から」を「端から」にする

p. 67 図 4-1. の「20013 年」を「2001 年」にする

【編集後記】

皆様のお陰で本号には多種多様な論文を掲載できました。全ての論文が放射線教育に役立つことを期待しています。ところで放射線教育フォーラムは3月12日に科学技術館で勉強会を開きました。講演が3つありましたが、そのうちの1つは、医学部の若い先生による放射線教育の実践に関するお話でしたが、非常に感銘を受けました。知恵を出し合って、自分たちで教材を作成し、小学校や中学校の生徒たちに放射線の話をして、また放射線に関する実験を生徒たちと一緒に行なって、大きな成果をあげられているようで、嬉しくなりました。イギリスの諺に「Strike while the iron is hot.（鉄は熱いうちに鍛えよ）」と言うのがあります。まだ純真な気持ちを失っていない若いうちに、正確な放射線の話を聞いてもらうこと、また放射線に関する実験を実際に体験してもらうことは、大切なことと思います。

会員の皆様から放射線教育に関する投稿論文が、多数編集委員会に届くのを楽しみにしております。

（小高正敬）

放射線教育　Vol. 8, No. 1 (2004)

発行日　2005年3月

発行者　NPO法人放射線教育フォーラム（会長　有馬朗人）
URL：http://www.ref.or.jp

編集者　放射線教育フォーラム編集委員会
小高正敬（委員長）、坂内忠明（副委員長）、今村　昌、大野新一、大橋國雄
菊池文誠、村主　進、堀内公子、村石幸正

事務局　〒105-0001　東京都千代田区霞ヶ関　3－3－1　尚友会館 B1F
放射線教育フォーラム
Tel：　03 – 3591 – 5366,　Fax：03 – 3591 – 5367
E-mail：mt01-ref@kt.rim.or.jp

Japan Association for Promotion
of Science Education and Equipment

明日の地球を担うサイエンティストたち

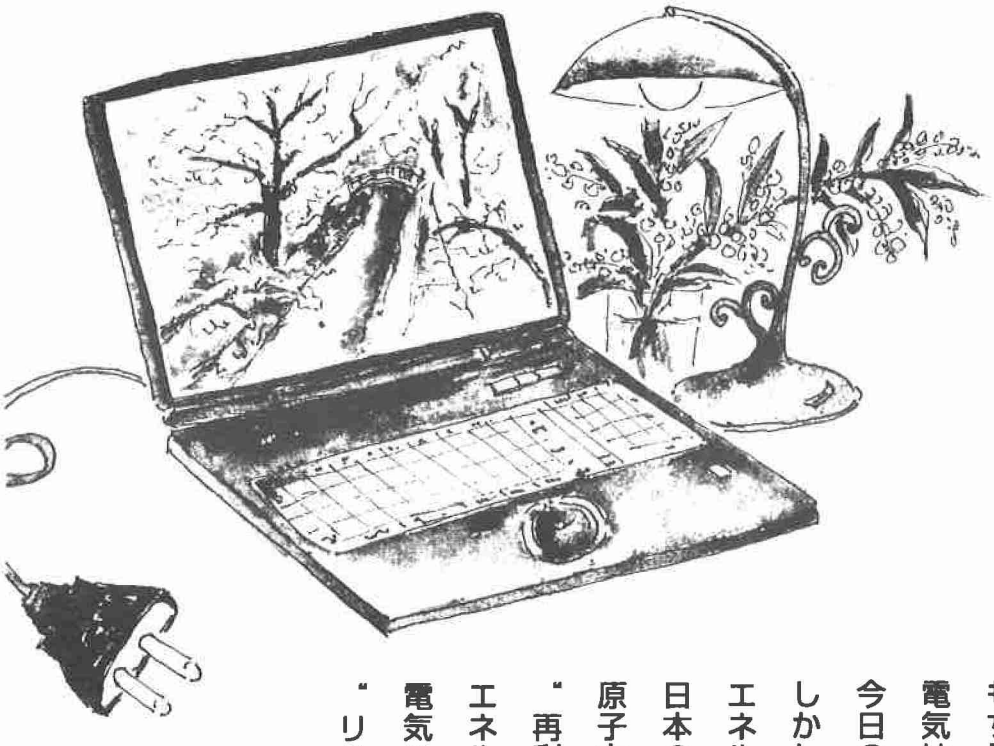
みんなの好奇心を応援します。

(社)日本理科教育振興協会は，学校教育用理科機器・算数数学機器およびそれらの関連教材の健全な発達と普及を図り，わが国の学校理科教育の振興に寄与する事を目的とする，文部科学省主管の公益法人です。会員数は全国約2,000社，文部科学省委託事業をはじめ各種展示会・講習会等，教育用理科機器の普及・啓発に関する幅広い活動を行っています。

協会証紙のついた製品の品質はメーカー保証に併せ，さらに協会の保証が約束されております。理化学機器のご購入にあたっては，信頼ある理振協会会員へご用命下さい

社団法人 日本理科教育振興協会

〒101-0052 東京都千代田区神田小川町3-26(山本ビル3F)
TEL. 03-3294-0715 FAX. 03-3294-0716
URL：http:/www.vinet.or.jp/japse



人のこころを結ぶ…これも電気の仕事です。

通信機器が主役なら、
電気はその機能をささえる脇役…
もちろん、通信機器をつくるためにも電気は必要です。
電気は、衣・食・住をはじめコミュニケーションの分野まで、
今日の快適な暮らしに欠かすことのできない存在ですね。
しかし、資源の乏しい日本は、電気をつくるための
エネルギー資源を海外から買わなくてはなりません。
日本の電気の約30%は原子力によってつくられていますが、
原子力発電の燃料であるウランには
"再利用できる"というメリットがあります。
エネルギー資源を大切に使うために…
電気のつくりかたにも
"リサイクル"が進められているのです。

エネルギーから あなたへ

電気のリサイクル
全国10の電力会社でつくる
電気事業連合会
ホームページにもぜひアクセスを…
http://www.fepc.or.jp/

ボンジュール、アリス…
今朝、サクラが咲き始めました。

電話やパソコンなど、通信技術の進歩には目をみはるものがあります。
携帯電話を持つか、どうか…迷っていたのが、この間のように思えるのに、今やカメラ付き携帯電話が普通になって…。
ウエディングケーキ・カットの時に、サッと携帯電話を持った腕が何本も差し出されるなどという光景も、結婚披露パーティーの風物詩になりました。最近では海外への映像通信も瞬時に送信できるようになり、映像の画質や、音質もグレードアップしています。
「ケイタイ」という新しい日本語もすっかりおなじみです。
電話を発明したのがアメリカのグラハム・ベルなのは、ごぞんじでしょう。
1876年3月10日のことでした。当時、ベルの研究所には2人の日本人がいて、日本語でも話ができるので大いに驚いたとか。
日本で電話が開通したのは1890年(明治23年)、東京・横浜間で営業が開始されました。
ちなみに、銀座通りにアーク灯がともったのは1882年(明治15年)のこと。
遠く離れた人と話ができたり、夜の闇の中に明るい光をみつけたり…
明治の人びとの・はじめて・の感動を現代の私たちも忘れたくないものですね。
さて…日本がサクラなら、フランスではミモザが春の訪れを告げます。
やがて・春を映す・メールが届くかも知れません、あなたの許へ…。

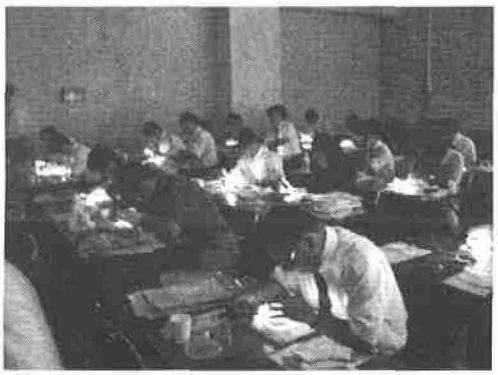
原子力・放射線をテーマに

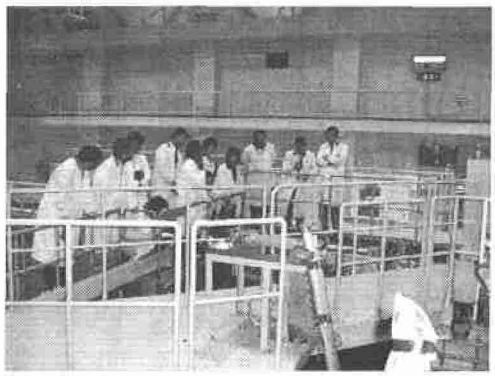
資源・エネルギー・環境教育の教材を提供・・・
見て、聞いて、触れて、考える、教員のための研修

文部科学省受託事業
原子力体験セミナー

本セミナーには国の原子力総合研究機関である日本原子力研究所を主会場として全国の先生方を対象に開催するコースと、全国各地に講師陣が出張して１～２日間で開催する「地域コース」「文系コース」があります。内容は、講義、実験・実習、施設見学、ワークショップで構成され、基礎的知識や科学的知識を獲得するコース、資源・エネルギー・環境・防災教育といった「総合的な学習の時間」等へも役立てていただける内容のコースまで、担当教科や興味・関心に応じてご参加いただけます。また、教材も提供しています。

ここでの体験や専門家とのふれあいから、２１世紀を担う児童・生徒達にとって魅力ある教育を探っていただければ幸いです。





- 参加資格：主として小・中・高等学校の教職員及びこれらに準ずる教育関係者
- 参加費用：セミナーの参加に要する旅費、宿泊費（対象者）並びに実習教材費、テキスト代等は主催者が負担いたします
- セミナーの予定やカリキュラムの詳細については下記にお問い合わせください

RADA

財団法人　放射線利用振興協会
国際原子力技術協力センター　国内研修部
〒319-1106　茨城県那珂郡東海村白方白根２－４
ホームページ: http://www.rada.or.jp　　E-mail: taiken@popx.tokai.jaeri.go.jp

原子力図書館

げんしろう

http://mext-atm.jst.go.jp

インターネットで カンタン検索!!

解説や論文、クイズ、最新情報など原子力に関する情報がギッシリ!! 調べ学習にも最適!!

原子力百科事典 ATOMICA

収録数2,400件を超すデータベース形式の百科事典です。世界の原子力や放射線など最新情報を豊富な図版とともにていねいに解説します。

文献データベース NUCLEN

一般から専門家にも役立つ収録数60万件を超す文献データベースです。世界中の原子力やエネルギー関係の文献に日本語の要約をつけてわかりやすくしています。

君は、どこからチャレンジする? げんしろうクイズ

放射線・原子力・環境・エネルギーをテーマに小・中学校生でも楽しめるクイズです。子供達の学習に活用できるコーナーです。

New さあ、調べてみよう! キッズデータベース

エネルギー・原子力・放射線について小学生向けにわかりやすく解説してあるデータベースです。

独立行政法人
科学技術振興機構
受託出版課 ☎03-5210-4962

放射線測定の信頼性向上に 作業環境の安全確保に

(はかるくん)

計量法による認定事業者

作業環境測定機関
(放射性物質取扱作業室)

放射線測定器の点検校正●
放射線測定器の基準照射●
作業環境測定●
「はかるくん」無料貸出●

高度な計測技術に基づいてそれぞれの業務を行っています。

●放射線測定器の特性試験
●放射線計測技術の調査及び試験研究
●放射線(能)測定
●原子力関係要員の研修

財団法人 放射線計測協会

〒319-1106 茨城県那珂郡東海村白方白根2-4(日本原子力研究所内)
http://www.irm.or.jp/ TEL 029-282-5546 FAX 029-283-2157

社団法人 日本電気協会
JAPAN ELECTRIC ASSOCIATION

日本電気協会は大正10年に設立された、日本で唯一の電気関係総合団体です
電気の生産から消費に関わる幅広い会員を有し、電気関係事業の健全なる発展に寄与しております

電気の今を学ぶために

あなたの知りたいこと
―電気事業について44の質問と答―
本体価格510円＋消費税25円 送料290円 A5判・154頁
一般社会人，学生などを対象に，電気の生産，供給をになう電気事業者(電力会社等)の今日のありのままの姿や当面する諸問題について知っていただくために，Q&A方式で図表を多く取り入れ，わかりやすく説明しています

東海林のり子の
電気事故リポート
―突然の災害から身を守るために―
本体価格28,572円＋消費税1,428円 VHS・18分
災害が起こった時，あなたは冷静に対処できますか？このビデオは，災害で起こる電気事故から日常生活まで，家庭で必要な電気安全知識をわかりやすく紹介しています。テレビでおなじみの東海林のり子さんがリポートします！

他にも多数の電気関係書籍・ビデオを発行しております

お問い合わせは 出版部 03－4283－2002
または下記ウェブサイトから！

電気の今を知るために

電気新聞は電力，電機，情報通信分野における
日刊専門紙です
原子力関係も最新のニュースを提供しています

購読のお申し込みは 新聞部 フリーダイヤル 0120－39－1551
または下記ウェブサイトから！

購読料
1ヶ月 3,990円
(本体価格3,800円＋消費税190円)

www.denki.or.jp

三菱重工

地球の熱さまし。
温暖化による“発熱”によく効きます。

いま、地球が“温暖化”という病気にかかりかけています。早めに治すには、省エネルギーや新エネルギーとともに、CO_2を排出しない原子力がよく効きます。美しい地球を健康のまま未来にのこすために、私たちは、これからも安全で信頼できる原子力発電プラントを提供してまいります。

STOP! 温暖化

三菱PWR原子力発電プラント

三菱重工業株式会社

本社　原子力事業本部・鉄構建設事業本部　〒100-8315　東京都千代田区丸の内2-5-1　☎(03)3212-3111
支社　関西／中部／九州／北海道／中国／東北／北陸／四国

各省庁研究費公募及び配分、内容等も紹介

我が国唯一の基礎科学専門紙

研究助成団体の募集及び結果

文部科学省等の情報

教授人事、国際会議派遣、大学ニュース、研究成果など

海外科学ニュース

海外雑誌を航空便で取り寄せ翻訳速報

その他の主な内容

人物紹介、海外出張者、国内科学ニュースダイジェスト、
学協会行事、科学雑誌・学協会誌目次総覧、外国雑誌、
新刊案内、書評、新製品紹介、研究所紹介、科学読物、
教授・助教授等公募、科学者が語る自伝

科学新聞　週刊（金曜日発行）

1カ月　1,835円
6カ月　9,700円(前納)
1カ年　18,350円(前納)
(送料・消費税込)

科学・技術・医学用語など69万語の辞書を装備！！

米国商務省・日英科学文献機械翻訳センターで採用！　文部科学省・科学技術振興調整費による成果！

パソコン用ソフト **科学と技術の翻訳パートナー** －日英－ Ver1.1

Windows版(バージョンアップ版)―― 定価(本体　95,000円＋税　買換価格20,000円＋税)
Macintosh版―――――――― 定価(本体120,000円＋税)
(CD-ROM1枚、ユーザーズ・マニュアル1冊)

科学新聞社

東京都港区浜松町1-8-1(〒105-0013)
TEL 03-3434-3741(代) FAX 03-3434-3745
http://www.sci-news.co.jp

資源・エネルギー・原子力・環境について
知りたいこと、疑問に思うことはありませんか?

①「**エネルギーと環境**」**講座**では、学校の先生方に最新の情報を提供しています。

②10月26日の「原子力の日」を記念して、**中学生や高校生から作文・論文を募集**し、入選者を表彰式と施設見学会にご招待します。

③高校生を対象に**放射線実習セミナー**を開催し、放射線に関する基礎的知識を講義と実習を通じて習得できるように、お手伝いします。

④先生方の研究会や勉強会に**講師を派遣**したり、発電所などの**施設見学会の開催**をお手伝いします。

⑤エネルギー、原子力などに関する、**ビデオや写真を貸し出し**ています。

- 講師派遣などの経費は無料です。
- お問合せは、電話、FAX、または手紙でお願いします。

財団法人日本原子力文化振興財団

〒103-0012　東京都中央区日本橋堀留町 2-8-4　　Tel：03-5651-1570　Fax：03-3639-6636